

Stichting voor Bodemkartering
Postbus 98
6700 AB Wageningen
Tel. 08370-19100

Rapport nr. 1459
Project nr. 062.34

BODEMGESTELDHEID EN DIEPTE VAN BEWORTELING

Ing. J.M.M.Th. Houben

ISBN 16747101

ISBN 90 327 0023 5

Wageningen, maart 1979

Niets uit deze uitgave mag worden verveelvoudigd en/of openbaar gemaakt door middel van druk, fotokopie, microfilm en op welke andere wijze ook zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van de Stichting voor Bodemkartering en de instantie die de opdracht tot het onderzoek heeft gegeven.

Fig. 8	Worteldiepte (w) in relatie tot de begindiepte van de C-horizont (C) in enkeerdgronden	22
Fig. 9	Indringingsweerstand bij Aan-horizonten van zwarte (x) en bruine (.) enkeerdgronden	23
Fig. 10	Het aantal wortels beneden de A-horizont van graan en gras per 50 cm ² (10 cm x 5 cm) in beekeerd- en gooreerdgronden	24
Fig. 11	Indringingsweerstand in een kalkrijke vlakvaaggrond (zeezand)	27
Fig. 12	Verband tussen het lutumgehalte en het volumepercentage lucht bij pF 2,0 voor gerijpte kalkrijke zavel- en zeekleilagen met minder dan 2% humus (Stichting voor Bodemkartering, 1972)	28
Fig. 13	Verband tussen de bewortelingsdiepte van Jonathan (appel) en de gemiddelde laagste grondwaterstand (GLG) in zware rivierkleigronden (Van Dam, 1973)	29
Fig. 14a en b.	Wortelbeelden van fruitbomen beneden de Ap-horizont in lichte zavelgronden (naar Hoekstra en Van Wallenburg, 1969)	31
Fig. 15	Verband tussen worteldiepte en begindiepte van kleiarm zand in oude rivierafzettingen en in jonge rivierafzettingen (ooivaaggronden)	35
Fig. 16	Wortelverdeling van grasland in gooreerdgronden: sterk lemig fijn zand (x), en in leekeerd-woudeerdgronden: zandige leem (.)	36
Fig. 17	Wortelverdeling van gras en tarwe in een siltige leemgrond (ooivaaggrond)	37
Tabel 1	Niveaus voor worteldiepte in relatie tot de wortelverdeling van gerst in een lichte zavelgrond	5
Tabel 2	Indringingsweerstand in bodemlagen van minerale gronden	9
Tabel 3	Grondwatertrappenindeling	11
Tabel 4	De pH-KCl in bodemlagen uit dalgronden (naar gegevens van Booijs e.a., 1975)	12
Tabel 5	Procentuele verdeling van indringingsweerstand in bodemhorizonten van veldpodzolgronden	17
Tabel 6	Het volumepercentage lucht bij pF 2,3 in brikgronden	20
Tabel 7	Procentuele verdeling van indringingsweerstand in de C-horizont van 24 profielen van gooreerdgronden	25
Tabel 8	Volumepercentage lucht bij pF 2,0 in verschillende structuurtypen bij kalkrijke lagen in zeekleigronden (Stichting voor Bodemkartering, 1972)	29
Tabel 9	Verband bodemeigenschappen en worteldiepte	40

1. INLEIDING

Kennis van de diepte van beworteling is noodzakelijk voor het vaststellen van het vochtleverend vermogen van een grond. Deze is in veel gronden produktiebepalend en is derhalve een onmisbaar gegeven bij een bodemgeschiktheidsbeoordeling. Ook voor de uitvoering van cultuurtechnische werken is kennis van de bewortelbaarheid van een grond belangrijk. Het is dan ook bijzonder nuttig, als men rechtstreeks uit de opbouw van een bodemprofiel kan afleiden met welke bodemeigenschappen wortelgroei verband houdt en welke bodemfactoren de wortelgroei beperken.

Opzet en uitvoering van het rapport zijn er op gericht de eigenschappen en kenmerken van de grond te beschrijven die van belang zijn voor het uit de profielopbouw afleiden van de bewortelingsdiepte van een grond. Ze worden in hoofdstuk 4 met cursieve letters in de tekst aangegeven. Daarbij worden ook de bodemfactoren besproken die de worteldiepte bepalen. Aan het slot van elke paragraaf wordt samengevat wat e.e.a. betekent voor de bewortelbare diepte van gronden behorend tot bodemeenheden, resp. groepen van bodemeenheden, die worden onderscheiden bij kartering van de bodem van Nederland, schaal 1:50 000.

Er wordt uitgegaan van het wortelstelsel van een volgroeid gewas, van de natuurlijke structuurtoestand van de grond en van normale tot droge weersomstandigheden. Dit laatste omdat in droge jaren het vochtleverend vermogen van extra betekenis is; een geschiktheidsbeoordeling wordt veelal ook gebaseerd op normale tot droge weersomstandigheden. Aan wortelgroei in Ap-horizonten of daarmee gelijk te stellen lagen wordt geen aandacht besteed. Er wordt ook geen rekening gehouden met de snelheid van de wortelgroei of met nadelige gevolgen van verdichtingen die bij de huidige mechanisatie of veebezetting in bepaalde gronden gemakkelijk kunnen ontstaan.

2. GRENZEN VOOR WORTELDIEPTE

Bij het bepalen van het vochtleverend vermogen van een grond wordt als onderzijde van de bewortelde zone het niveau gekozen waarop nog net voldoende wortels aanwezig zijn om al het vocht aan de grond te onttrekken, resp. op het niveau waar op basis van de bewortelingsdichtheid nog net voldoende capillair water kan worden opgenomen. Het vaststellen van dat niveau levert de nodige problemen op. Zo is niet bekend, bij welk minimum aan bewortelingsdichtheid een grond nog net kan worden leeggezogen en of dit minimum misschien anders ligt bij "hangwaterprofielen" dan bij "grondwaterprofielen". Ook zijn mogelijk van belang verschillen in opnemend vermogen van wortels tussen gewassen onderling, verschillen in wortelactiviteit of verschillen in binding van het bodemvocht als gevolg van verschillen in de fysische toestand van de bodem.

De onderzijde van de bewortelde zone, worteldiepte of totale worteldiepte genoemd, is het punt waarbeneden nog slechts incidenteel of sporadisch een wortel weet door te dringen (tabel 1). Volgens velen is op dat punt de bewortelingsdichtheid vaak te gering om een gewas nog in voldoende mate te voorzien van vocht en mineralen. Butijn (1958, 1961) werkt dan ook met het begrip "wortelzone". Daaronder verstaat hij het gedeelte van het profiel waar, gerekend vanaf het maaiveld, 90% (dunne) levende wortels voorkomen. Rijtema (1971) introduceerde het begrip "effectieve wortelzone"; hij definieert dat als de laag van het profiel waarin 80% van de wortels aanwezig is (tabel 1). Hij zegt echter ook dat de "effectieve wortelzone" samenvalt met de laag in een profiel die de worteldiepte beperkt.

Dit laatste sluit aan bij dit rapport omdat hier de profielopbouw centraal staat bij het aangeven van de bewortelingsdiepte van de grond. Het lijkt echter noodzakelijk tevens gebruik te maken van de grens die Van der Schaaf (1955) hanteert nl. het niveau in het bewortelingsbeeld waar de hoeveelheid wortels vermindert tot bijna niets. Dat niveau wordt door hem "werkzame worteldiepte" genoemd. Deze terminologie zal ook hier verder worden gebruikt, omdat het niveau dat Van der Schaaf aangeeft, goed past bij de reacties van wortelgroei op bepaalde eigenschappen van de grond. Het past ook bij de veldervaringen in zandgronden waarbij is vastgesteld dat bodemlagen met een bewortelingsdichtheid van slechts twee wortels per 50 cm² of meer, sterk kunnen uitdrogen. Bij tabel 1 ligt dat niveau op 50 à 60 cm - mv. Daarbeneden is de bewortelingsdichtheid te gering. Ook is daar de onderlinge afstand van de wortels vaak te groot om al het vocht te kunnen opnemen.

Tabel 1. Niveaus voor worteldiepte in relatie tot de wortelverdeling van gerst in een lichte zavelgrond

cm - mv.	Aantal wortels per 50 cm ² (10x5 cm) over een af- stand van 60 cm							Totaal aantal wortels	% wortels (cumulatief)
0 - 5	14	8	9	9	5	6	51	11	
5 - 10	5	8	8	4	5	6	36	19	
10 - 15	5	6	8	11	5	4	39	27	
15 - 20	2	8	8	11	11	12	52	39	
20 - 25	5	9	8	10	13	10	55	51	
25 - 30	6	6	10	8	13	10	53	63	
30 - 35	4	4	8	7	6	5	34	70	
35 - 40	5	8	9	7	4	7	40	79	
40 - 45	2	3	5	3	8	3	24	84	
45 - 50	1	3	3	2	4	1	14	87	
50 - 55	1	2	3	1	2	2	11	90	
55 - 60	1	2	2	1	2	1	9	92	
60 - 65	-	2	-	-	1	2	5	93	
65 - 70	1	2	1	1	1	2	8	95	
70 - 75	1	1	-	1	1	1	5	96	
75 - 80	-	2	-	-	-	1	3	97	
80 - 85	-	1	1	-	-	-	2	98	
85 - 90	-	1	2	2	1	1	7	99	
90 - 95	1	-	-	1	1	1	4	100	
95 - 100	-	-	-	-	-	1	1		
100 - 105					1		1		
105 - 110					1		1		

"effectieve wortelzone"
(80% wortels)

"wortelzone" (90% wortels)

"werkzame worteldiepte"
(geringe bewortelingsdichtheid)

"worteldiepte"
onderzijde bewortelbare zone

"effectieve wortelzone"
(80% wortels)

"wortelzone" (90% wortels)

"werkzame worteldiepte"
(geringe bewortelingsdichtheid)

"worteldiepte"
onderzijde bewortelbare zone

In veel gevallen, en dan vooral in gronden met een hoge indringingsweerstand (par. 3), neemt de hoeveelheid wortels over een kort traject (≤ 10 cm) af van voldoende tot nauwelijks of geen wortels. Het is dan weinig zinvol, zeker bij veldwerk om onderscheid te maken tussen "worteldiepte" en "werkzame worteldiepte". In deze beschrijving zal hieraan geen extra aandacht worden besteed. Waar nodig zal echter op verschillen worden geattendeerd.

Ter bepaling van de gedachte kan worden gesteld dat de "werkzame worteldiepte" ligt op ongeveer het niveau waarop, bij vrijwel elke 10 cm op een profielwand, ten minste 2 wortels, liefst verdeeld over de wand, gemakkelijk zichtbaar zijn te maken. Verder worden ook gedeelten van wortelzones met uitsluitend wortels aan de oppervlakte van grote enkelvoudige prisma's niet gerekend tot de "werkzame worteldiepte". Zoiets doet zich vooral voor in knip- en komkleigronden.

3. FACTOREN EN OMSTANDIGHEDEN VAN BELANG VOOR WORTELGROEI

Binnen de erfelijk bepaalde mogelijkheden past een plant zijn wortelontwikkeling aan aan de in zijn milieu voorkomende omstandigheden. Daardoor kunnen van een zelfde plantensoort zeer verschillende wortelbeelden voorkomen. Deze verschillen kunnen direct of indirect veroorzaakt worden door:

- pH van de grond,
- aëratie en daarmee de zuurstofvoorziening van het wortelstelsel,
- indringingsweerstand van de grond,
- voedingsstoffen en zoutconcentratie van het bodemvocht,
- vochtgehalte van de grond,
- weersomstandigheden als temperatuur en neerslag,
- cultuurmaatregelen,
- wortelconcurrentie,
- afscheidingsprodukten,
- verschillen in beginfase van de groei door o.m. vastheid van de grond of zuurstofvoorziening.

Al deze factoren en omstandigheden beïnvloeden de wortelgroei en hebben dientengevolge invloed op bewortelingsdichtheid of dieptegroei van het wortelstelsel. De grens van de dieptegroei wordt bepaald door de factor die het ondiepst in het profiel niet meer voldoet aan minimumvoorwaarden voor wortelgroei. Onder Nederlandse omstandigheden zijn dat vrijwel steeds:

- een te lage pH
- een te geringe aëratie
- een te hoge indringingsweerstand.

3.1 pH

Te lage pH's zijn pH-KCl-waarden van minder dan 3,5 à 4. De te hoge concentratie aan H-ionen en vooral de toxische werking van Al, Mn of Fe beperken dan de wortelgroei. Niet alle gewassen zijn daar echter even gevoelig voor en de pH waarbij concentraties van die stoffen giftig worden is ook niet in alle gronden hetzelfde. Waarschijnlijk ligt de kritische grens in kleigronden wat hoger dan in zand- en veengronden. Als kritische grens voor haver en tarwe vond Wind (1967) in zand- en veengronden een pH-KCl van 3,5, wat overeenkomt met de resultaten van onderzoek bij bloembollen door Van der Boon (1974).

3.2 Aëratie

Bij slechte of geen aëratie kunnen de wortels van de meeste gewassen nauwelijks of niet groeien als gevolg van zuurstofgebrek, koolzuurovermaat of door de toxische werking van stoffen die in een anaëroob milieu ontstaan en niet wor-

den afgevoerd. De bovenste van de lagen met een te slechte aëratie bepaalt de luchtverversing in de diepere lagen en derhalve ook de dieptegroei van de wortels en de bewortelingsdichtheid in en beneden die "storende" laag. Karakteristiek voor wortelgroei bij een gebrekkige aëratie zijn groeiremming, een heterogene opbouw van het wortelbeeld, geen scherpe begrenzing van het wortelstelsel aan de onderzijde en een geringe vertakking van de wortels; ook is soms een aantal wortels dikker en van een lichtere kleur en vaak komen ook dode wortels voor. Beneden het grondwater en vaak ook vlak erboven komt nauwelijks of geen lucht voor. Beneden de zomergrondwaterstand vormen de meeste gewassen dan ook geen wortels. Boven het grondwater wordt de wortelgroei bepaald door de structuur.

Volgens Wesseling (1957) is aëratie niet meer mogelijk bij luchtgehalten van minder dan 10 à 15%. Dit past bij ervaringen van Hoekstra (1971) in kleigronden en met die van Feyen (1971) in leemgronden dat wortelgroei sterk wordt geremd en dat meer dode wortels voorkomen bij luchtgehalten van minder dan 10%. Bakker en Hidding (1967), Boekel (1970) en Visser (1977) wijzen er echter op dat voor aëratie, naast het luchtgehalte ook de vorm en de grootte van de poriën en het al of niet geblokkeerd zijn van de poriën van belang zijn.

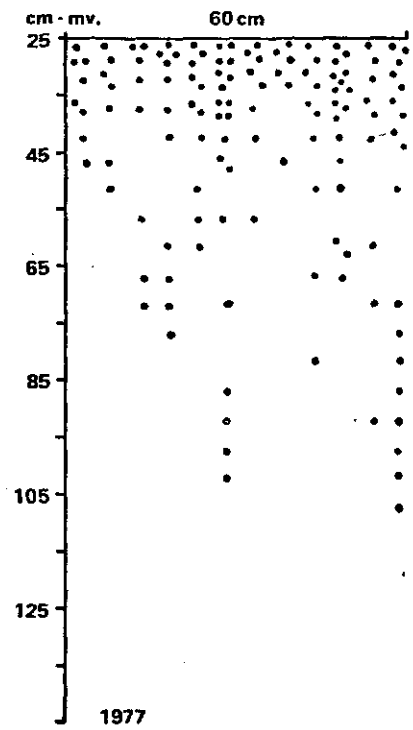
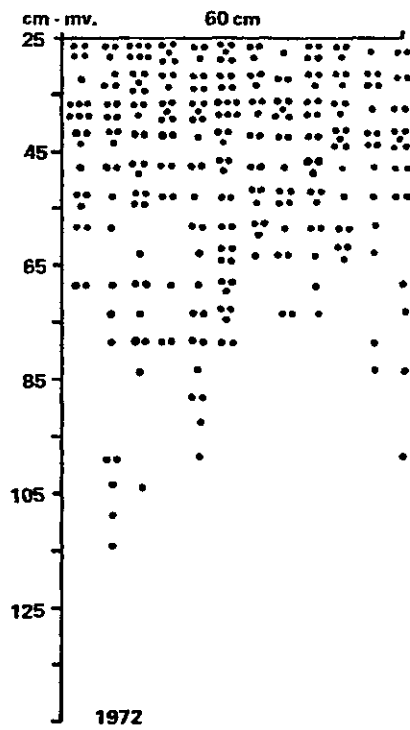
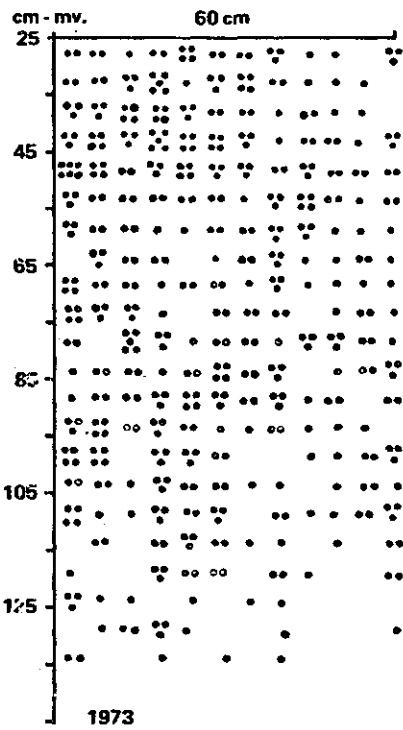
Het bodemluchtgehalte wordt mede bepaald door de vochttoestand van de bodem. Daardoor is in gronden met een beperkte aëratie de wortelgroei weersafhankelijk (fig. 1). Verder zijn niet alle gewassen in dezelfde mate gevoelig voor een gebrekkige aëratie. De minder diepe wortelgroei van aardappelen dan van suikerbieten in figuur 1 is hiervan een illustratie. Volgens Brouwer (1972) komen zulke verschillen waarschijnlijk voort uit de gevoeligheid voor de ethyleenconcentratie.

3.3 Indringingsweerstand

Wanneer wortels een weerstand ontmoeten die groter is dan de door hen uitgeoefende druk en als (bio)poriën met een diameter van meer dan circa 200 μm ontbreken, is wortelgroei onmogelijk (Wiersum, 1957). Volgens Hidding (1961) doet dit zich voor in humusarm en slibarm zand bij een poriëngehalte van $\leq 40\%$. Volgens Van der Valk en De Haan (1969, 1971) ligt in zeezand de grens bij een poriëngehalte van 44%. Een andere benadering is die via de indringingsweerstand bij veldcapaciteit van de grond. Deze wordt gemeten met een penetrometer met een conus van 1 cm^2 en een tophoek van 60° . Een toeneming van de indringingsweerstand veroorzaakt een vermindering van de wortelgroei; als deze meer dan 2,5 à 3 MPa is, is wortelgroei nauwelijks of niet mogelijk (Camp and Lund, 1968; Van Dam en Hulshof, 1967; Houben, 1972; Taylor and Gardner, 1963) tenzij er een

* 1 $\text{MPa} \approx 10 \text{ kgf per cm}^2$

SUIKERBIETEN



AARDAPPELS

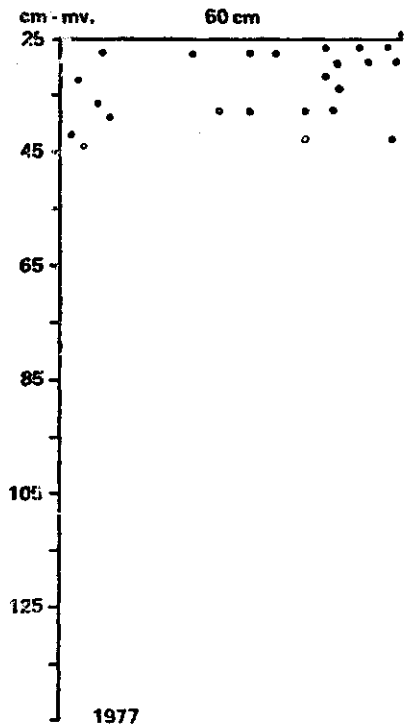


Fig. 1 Wortelbeeld (suikerbieten en aardappels) beneden de Ap-horizont in siltige leembrikgrond; 1973 had een overwegend droog groeiseizoen, 1972 en 1977 hadden een groeiseizoen met vrij natte perioden

stelsel van voldoende grote verticale poriën aanwezig is (Visser en Goedewaagen, 1943; Taylor and Burnett, 1964). Door dit laatste wordt de kritische grens minder scherp en verschuift naar hogere waarden; voor veel zandgronden ligt deze tussen 3,0 en 5,0 MPa (Houben, 1974).

Tabel 2 geeft indringingsweerstand in bodemlagen van zand-, leem- en kleigronden. Daaruit is af te leiden dat deze vooral in humusarme zandlagen de wortelgroei beperken.

Tabel 2. Indringingsweerstand in bodemlagen van minerale gronden

	MPa
Aan-horizont in enkeerdgronden	0,8 - 2,0
B2-horizont in veldpodzolgronden	2,0 - 5,0
Cg-horizont in zand	>5,0
Bt-horizont in zandige leem	3,5 - 5,0
Bt- en C1-horizont in siltige leem	1,5 - 3,5
Cg-horizont in lichte zavel	1,5 - 2,5
Cg-horizont in zware zavel en klei	<1,5

Karakteristiek voor wortelgroei in gronden met een te hoge indringingsweerstand is dat wortels vrij massaal naar beneden doordringen tot meestal net beneden het niveau waar de voor wortelgroei te hoge weerstand voorkomt. Daar worden vaak verdikte worteltoppen gevormd en zeer korte vlezige zijwortels. Dit is ook onder laboratorium-omstandigheden door Schuurman (1965) geconstateerd.

De indringingsweerstand van een grond wordt ook beïnvloed door het vochtgehalte en is derhalve ook weersafhankelijk. Dit heeft echter zelden betekenis voor de dieptegroei van wortels. Immers dieptegroei gaat aan vochtonttrekking van enige omvang vooraf.

3.4 Nabeschouwing

In het kort zijn de drie belangrijkste bodemfactoren beschreven en zijn de kritische grenzen ervan voor wortelgroei vermeld. Het zal echter duidelijk zijn dat gelijktijdig meerdere factoren op de wortelgroei kunnen inwerken, die elkaar ook kunnen beïnvloeden. Zo laten Tackett and Pearson (1964) zien (fig. 2) dat een grenswaarde voor volumegewicht lager komt te liggen naarmate de aëratie slechter wordt. Eavis (1972) toont aan, dat bij een bepaald volumegewicht, dus bij een bepaalde indringingsweerstand, een betere vochtvoorziening ook een betere wortelgroei oplevert.

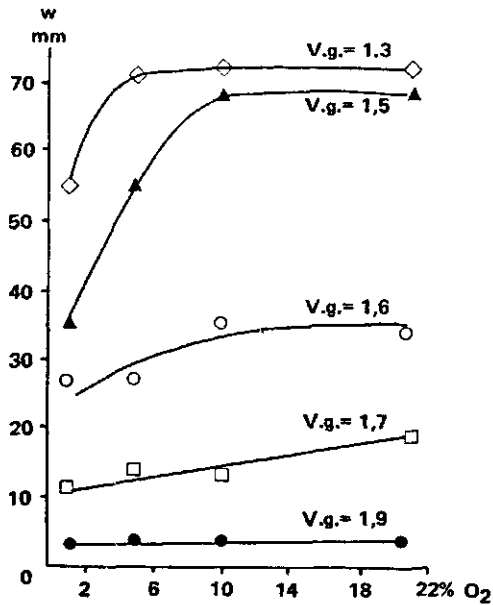


Fig. 2. Het effect van de zuurstofconcentratie (O₂) en volumegewicht (V.g.) op worteldiepte (w) (naar Tackett and Pearson, 1964)

Brouwer (1960) vond dat de nadelige invloed van een gebrekkige aëratie groter werd bij het toenemen van de lichtintensiteit. Bij het zoeken naar een verklaring voor het ontstaan van een bepaald wortelbeeld of van details daaruit, moet dan ook niet alleen rekening worden gehouden met afzonderlijke factoren die op wortelgroei inwerken, doch ook met de gevolgen van interacties tussen die factoren.

4. WORTELGROEI EN BODEMGESTELDHEID

4.1 Veengronden

Voor de wortelgroei is een indeling van veengronden in eerdveen- en rauw-veengronden van ondergeschikt belang. Wel bestaat er een vrij duidelijke correlatie tussen worteldiepte en

- *grondwaterstand in bos- en broekveen*
- *de diepte van de veraarde laag* (de laag met sterke verwerking in veenmos-, zegge- en veelal ook rietveen)
- *de aanwezigheid van spalterveen.*

De ondergrens van de bewortelde zone wordt vooral bepaald door de aëratie eventueel in combinatie met de pH of door de pH als factor apart. Mogelijk is in spalterveenlagen ook de indringingsweerstand nog een beperkende factor voor de wortelgroei. Aëratie is in veel gevallen reeds ondiep de beperkende factor door de veelal hoge grondwaterstanden. Immers in veel veengebieden is een Gt-klasse van I, II of III regel (tabel 3). Toch bestaat er lang niet altijd verband tussen worteldiepte en grondwaterstand. Dit hangt samen met verschillen in structuur bij verschillende veensoorten. Zo bestaat eutroof veen als bos- en broekveen uit grof veen. Resten van een houtbegroeiing vormen grote holten en dat maakt aëratie tot aan het grondwater mogelijk. Begrijpelijk is dan ook dat Minderhoud (1960) in bosveen een verband vond tussen zomergrondwaterstand en worteldiepte. Ook is in het veld gezien dat in broekveen met Gt IV wortels van diverse gewassen tot ruim 100 cm diep kunnen doordringen. Binnen een bepaald gebied kan het aantal "grote holten" echter sterk wisselen en daarmee ook de wortelingsdichtheid beneden de veraarde laag. Dit kan plaatselijk problemen opleveren bij het vaststellen van de werkzame worteldiepte.

Tabel 3. Grondwatertrappenindeling

	Grondwatertrap (Gt)						
	I	II	III	IV	V	VI	VII
Gemiddeld hoogste grondwaterstand in cm-mv. (GHG)	<20	<40	<40	>40	<40	40-80	>80
Gemiddeld laagste grondwaterstand in cm-mv. (GLG)	<50	50-80	80-120	80-120	>120	>120	>120

Jonker (1955, 1958) vermeldt dat na ontwatering wortels in veen doordringen tot de niet geaëreerde zone. Hij wijst er echter op dat dit sneller gebeurt als het veen is omgespit. Dit duidt er reeds op, dat beperkingen in wortelgroei kunnen samenhangen met een stelsel van te nauwe poriën. In het randgebied van

de Noordoostpolder vond Van der Schaaf (1955) geen verband tussen grondwaterstand en worteldiepte. Van de daar voorkomende venen vermeldt Veenenbos (1950) dat het mos- en zeggeveen zeer slecht doorlatend is. Vos (1975) constateerde hetzelfde in het westelijk veengebied; hij wijst op een slechte doorlatendheid als gevolg van een te gering aantal grote poriën. Samen met luchtgehalten in o.m. zeggeveen van minder dan 10% (Schothorst, 1975) en met het nauwelijks of niet binnendringen van wortels in niet veraarde fijne veensoorten, ook niet na een diepere ontwatering, duidt dit op een te geringe aëratie.

In oligotroof en vaak ook mesotroof veen ligt de ondergrens van de bewortelde zone meestal op het niveau waarop het veen niet meer korrelig aanvoelt. Deze korrelig aanvoelende laag komt waarschijnlijk overeen met wat in de beschrijving bij kaartblad 37 Oost (Stichting voor Bodemkartering, 1972) "sterk verweerd" wordt genoemd. In deze laag is de bewortelingsdichtheid vaak gering; de wortels zijn dan bros, wit van kleur en weinig vertakt. Dit duidt op aëratiegebreken.

Bij platerig veen, vaak aangeduid met spalterveen, kan de werkzame worteldiepte worden gesteld op het niveau waarop dit veen begint. Wortels dringen namelijk zeer moeilijk door de afzonderlijke veenlaagjes heen. Wel is karakteristiek de horizontale wortelgroei tussen deze laagjes.

Uit niet gepubliceerde gegevens van A.H. Booiij, Stichting voor Bodemkartering, is naar voren gekomen dat in de veenkoloniën in dalgronden met bolsterloos veen gemiddeld slechts 3% van de wortels dieper dan de bouwvoor komt. Voor profielen met bolster is dit 5%. Wortels beneden de bouwvoor bevinden zich in scheuren of op plaatsen waar het veen met zand is verontreinigd. De zeer ondiepe wortelgroei komt niet alleen voort uit een te geringe aëratie. Zoals tabel 4 laat zien is ook de pH in het veenmosveen te laag voor wortelgroei. Dergelijke lage pH-waarden zijn in het westelijk veengebied uitzonderlijk doch in het hoogveen van de veenkoloniale gebieden regel.

Tabel 4. De pH-KCl in bodemlagen uit dalgronden (naar gegevens van Booiij e.a., 1975)

Dalgrondlagen	pH		Aantal monsters
	gemiddeld	% $\leq 3,5$	
Los pakket veen (bolster)	3,2	88	35
Vast oud veenmosveen	3,2	91	22
Gliede	3,1	100	12
Moerasbosveen	4,2	0	12
C-horizont	4,2	0	43

Bewortelbaarheid veengronden. Bos- en broekveengronden hebben worteldiepten die ongeveer op hetzelfde niveau liggen als de zomergrondwaterstand. Bij de veel voorkomende Gt-klasse II betekent dit een worteldiepte van veelal 50 à 70 cm. In gronden met weinig houtresten en in veengronden met veenmos-, zegge- en vaak ook rietveen zal de worteldiepte, zeker de werkzame worteldiepte, veelal beperkt blijven tot 30 à 50 cm. Aëratie is hier steeds de beperkende bodemfactor.

In veenmosveengronden met een veenkoloniaal dek is de worteldiepte 20 à 30 cm. Hier vormen de pH en de aëratie de beperkende factoren. Wanneer in deze gronden moerasbosveen tot aan het veenkoloniale dek voorkomt, is de pH voldoende hoog en de wortelgroei vergelijkbaar met die in bos- of broekveengronden.

Vlietveen- en vlierveengronden zijn zeer nat en weinig verweerd. Daardoor is de bodemluchthuishouding slecht en bedragen de worteldiepten veelal niet meer dan 15 à 30 cm.

4.2 Moerige gronden

Afgezien van de invloed van de vaak ondiepe zomergrondwaterstanden (Gt I t/m III komt veel voor) is voor de worteldiepte van de moerige gronden van belang de bewortelbaarheid van de moerige laag, mits deze ook beneden de bouwvoor voorkomt. Die bewortelbaarheid hangt samen met *veraarding, scheurvorming en veensoort*. Voor een beschrijving daarvan wordt verwezen naar de vorige paragraaf. *Gliede is niet bewortelbaar* door de te lage pH (tabel 4) en veelal heeft het ook een te slechte aëratie.

Indien het moerig materiaal wortelgroei toelaat, en volgens gegevens van De Smet (1969) is dit zelfs niet uitgesloten in de dunne moerige lagen van de veenkoloniën, is de bewortelbaarheid van de minerale ondergrond bepalend voor de worteldiepte. Dit komt in de volgende paragrafen aan de orde.

In moerige podzolgronden, zeker in de leemarme en zwak lemige, is de B-horizont meestal sterk verkit. Daardoor kunnen veelal niet voldoende wortels er dieper dan circa 10 cm in doordringen.

In plaseerdgronden *is het niveau waarop de kattenkleivlekken* voorkomen, resp. het begin van de *niet gerijpte ondergrond*, bepalend voor de worteldiepte, als gevolg van een te lage pH en/of gebrekkige aëratie. Broekeerdgronden hebben meestal wortelgroei tot aan ongeveer de zomergrondwaterstand. De bewortelingsdichtheid in het minerale materiaal is dikwijls beperkt zodat de werkzame worteldiepte meestal ligt op 10 à 30 cm beneden het begin van die laag.

Bewortelbaarheid moerige gronden. Worteldiepten van 20 à 30 cm mag men verwachten in moerige podzolgronden in veenkoloniale gebieden met een mosveenlaag direct onder de Ap-horizont. Is aansluitend aan de Ap-horizont een bewortelbare moerige laag aanwezig of een B-horizont dan zijn worteldiepten van 30 à 60 cm mogelijk. Bij de moerige eerdgronden is, behalve in veel plaseerdgronden, wortelgroei tot het grondwater mogelijk doch de werkzame worteldiepte zal ook hier veelal liggen tussen 30 en 60 cm - mv.

4.3 Podzolgronden

4.3.1 Moderpodzolgronden

De worteldiepte in moderpodzolgronden valt samen met de bovenste *fibers*, *banden* of *resten* daarvan of met de *bovenkant* van een *ijzer-B-horizont*, ook wel *vlammenhorizont* genoemd (Van den Broek en Teunissen van Maanen, 1959; Van Oosten, 1975), respectievelijk met het niveau waarop *witgrijze vlekken* voorkomen. Deze lagen beginnen meestal 10 à 30 cm beneden de B-horizont.

Omdat de wortels ondiep in het C-materiaal doordringen (fig. 3) en de bewortelingsdichtheid daar ook vrij gering is, is het niveau van de *onderzijde* van de B-horizont ook een goed criterium voor de werkzame worteldiepte.

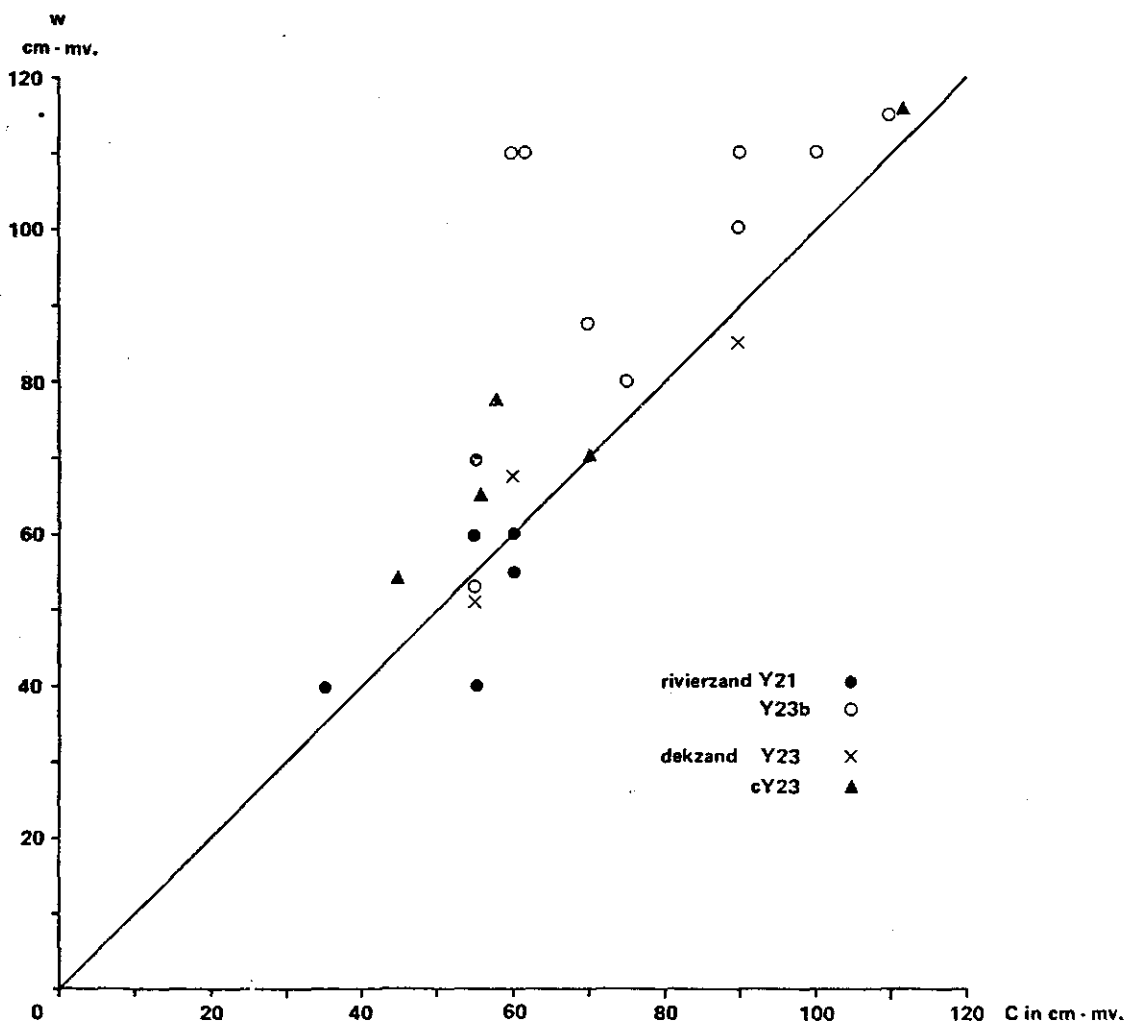


Fig. 3. Worteldiepte (w) van graan en gras in relatie tot de begindiepte van de C-horizont (C) in moderpodzolgronden

Genoemde relaties tussen bodemeigenschappen en worteldiepte zijn voor asperges ook waargenomen door Franken en Roorda van Eysinga (1958) en voor bos door Schelling (1960). Voor bos kan echter worden opgemerkt dat incidenteel wel wortels, vaak via grijze vlekken in de bodem, dieper in de grond doordringen dan veelal het geval is met gras of akkerbouwgewassen. Het niet dieper doordringen van wortels in bepaalde bodemlagen is een gevolg van een te hoge mechanische indringingsweerstand in die lagen. Deze is af te leiden uit de structuur (Reijmerink, 1968) en uit gemeten indringingsweerstand. Volgens interne mededeling nr. 33 van Van de Krey zijn indringingsweerstand van minder dan 2,0 MPa regel tot in de B/C-horizont, terwijl in de banden-B-horizont of in resten daarvan waarden van meer dan 5,0 MPa normaal zijn.

4.3.2 Humuspodzolgronden

In humuspodzolgronden is er meestal een vrij duidelijk verband tussen worteldiepte en de *diepte waarop de C-horizont begint* (fig. 4). In de groep leemarm en zwak lemig zand bereiken de wortels echter niet steeds de C-horizont. Dan kan de worteldiepte samenvallen met *het begin van een A2-horizont*, mits deze ten minste 10 cm dik is, nauwelijks of geen organische stof bevat en opvallend grijs van kleur is. Overige A2-horizonten zijn in meer of mindere mate bewortelbaar. Ook kan de worteldiepte samenvallen met *het begin van een B2h-horizont*; dit geldt vooral in "wrede humuspodzolgronden". Hierbij moet worden opgemerkt dat boomwortels wel door een B2h-horizont kunnen dringen. Wanneer dan de ondergrond bestaat uit een aan moderpodzolen verwante ondergrond is ook wortelgroei tot soms vrij diep in het C-materiaal mogelijk.

Sterk verkitte B-horizonten zijn veelal minder dan circa 10 cm diep bewortelbaar. Ze zijn herkenbaar aan de "voelbare" vaste pakking, aan rodere kleuren en aan het ontbreken van Molin¹a-stippen of aan de aanwezigheid van fibers. Eveneens ondiep bewortelbaar zijn B-horizonten van *diep doorlopende en sterk vervloei*de B-lagen. De punten op figuur 4a rechts (C-horizont dieper dan 100 cm) zijn daar voorbeelden van.

Uit figuur 4 kan ook worden afgeleid dat in humuspodzolgronden geen verband bestaat tussen worteldiepte en Gt-klasse en dat de worteldiepte meestal ligt tussen 35 en 75 cm. De beperkte worteldiepte in humuspodzolgronden en de relaties met bodemeigenschappen komen naar voren bij een onderzoek van Van Dam (1973) met asperges, Goedewaagen en Schuurman (1955) met gras, Van der Kloes e.a. (1961) met aardbeien, Van Lieshout (1960) met haver, Loeters en Bakermans (1964) met groenbemestingsgewassen en Posthuma (1974) en Schelling (1960) met bos. Wel valt van bos op te merken dat zeer plaatselijk, waarschijnlijk via "vorstscheuren", een diepere wortelgroei voorkomt.

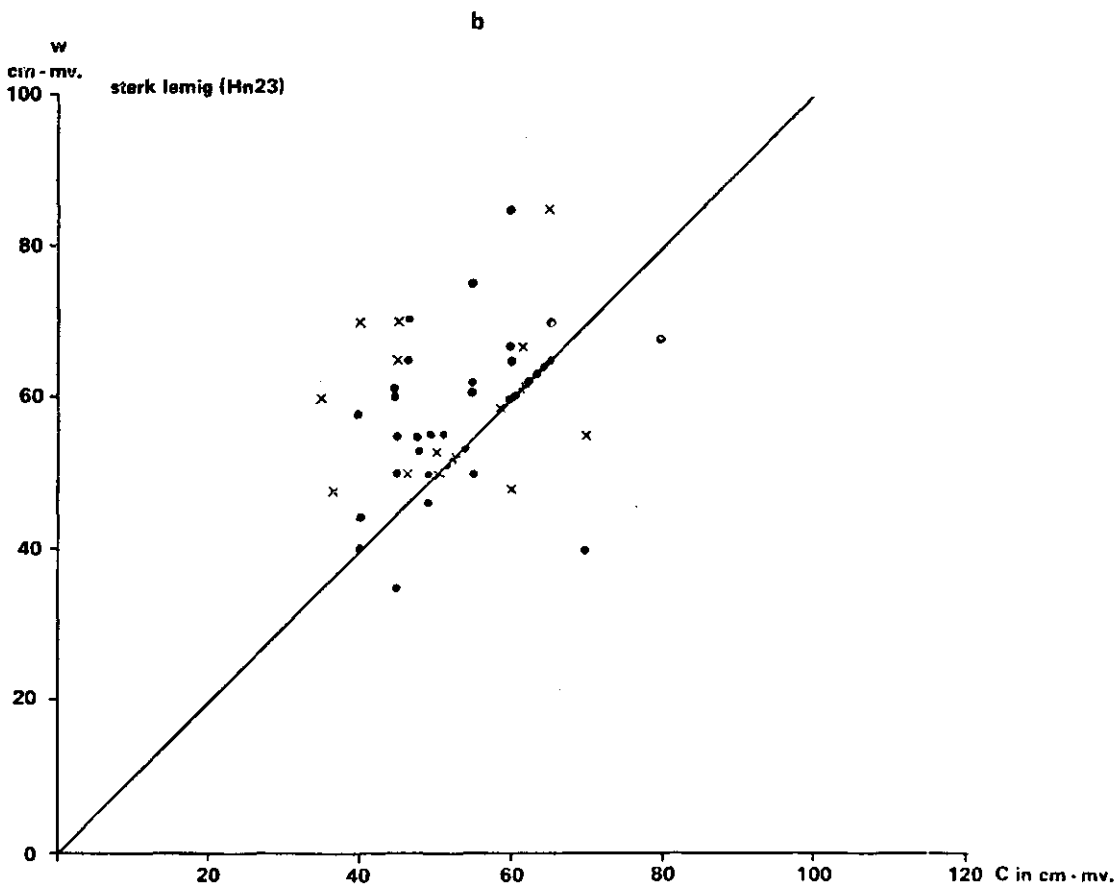
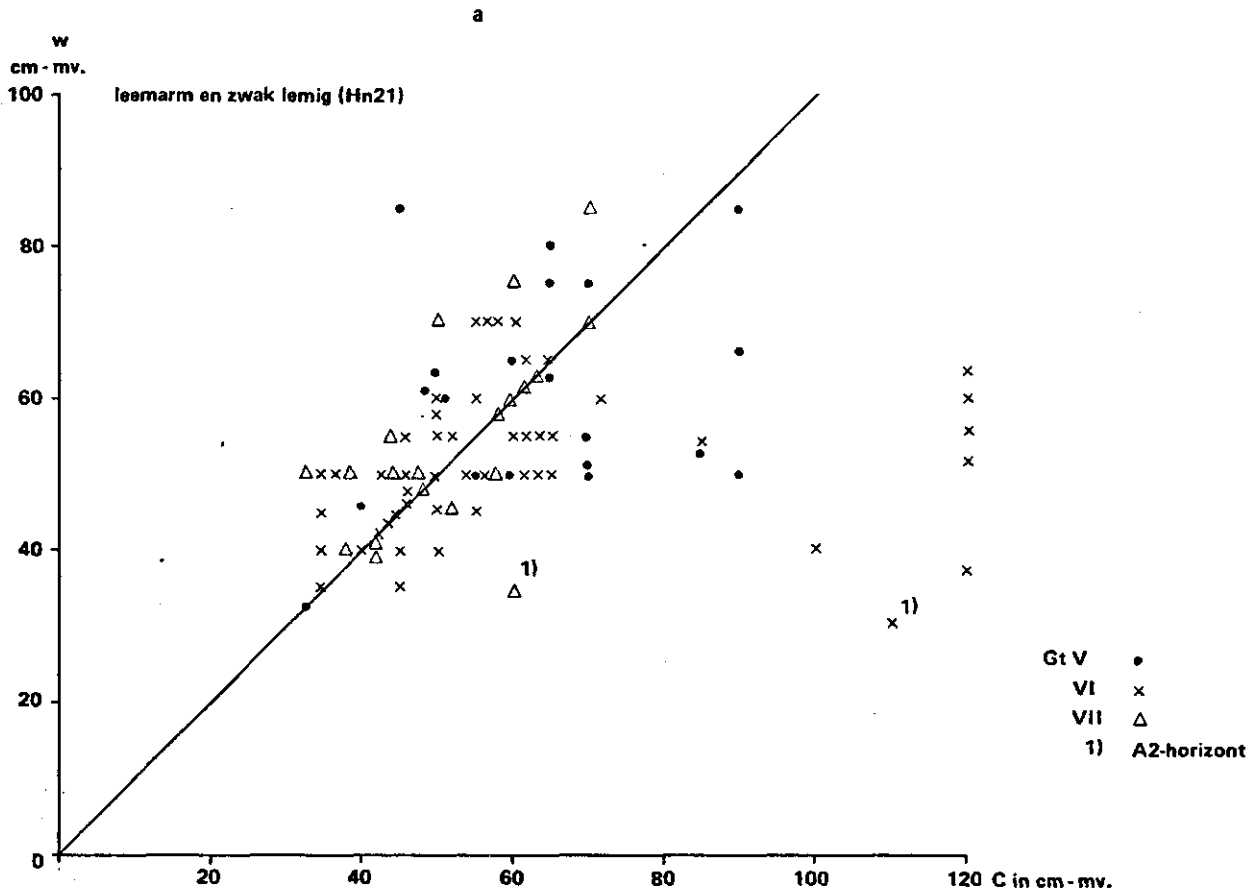


Fig. 4a en 4b. Worteldiepte (w) in relatie tot de begindiepte van de C-horizont (C) bij veldpodzolgronden

De algemeen geconstateerde ondiepe wortelgroei moet worden toegeschreven aan een te hoge indringingsweerstand. Duidelijke aanwijzingen daartoe zijn het bij karteringswerkzaamheden goed voelbaar moeilijker boren, de met een punt van een mes aan een profielwand goed voelbare vastere pakking op het niveau waar wortelgroei gaat ontbreken. Tabel 5 laat zien dat bij leemarme en zwak lemige veldpodzolgronden reeds aan de onderzijde van de B2-horizont (veelal minder dan 20 cm dik) in ruim de helft van het aantal profielen indringingsweerstand van meer dan 3,0 MPa voorkomen. In bijna 50% van de profielen is bij het begin van de B3-horizont de indringingsweerstand meer dan 5,0 MPa en in 79% van de gevallen meer dan 5,0 MPa bij het begin van de C-horizont. Bij de sterk lemige gronden komt een relatief groter aantal profielen met lagere indringingsweerstand voor. Ook daar is ondiep in de C-horizont de indringingsweerstand hoog tot zeer hoog. De wat lagere indringingsweerstand in de laatstgenoemde groep moeten voor een deel worden toegeschreven aan de aanwezigheid van "milde podzolen" in vooral de Gt-klasse VI.

Tabel 5. Procentuele verdeling van indringingsweerstand in bodemhorizonten van veldpodzolgronden

Hori- zont	Laag- dikte in cm	Bodemeenheid Hn21 (leemarm en zwak lemig)						Bodemeenheid Hn23 (sterk lemig)					
		n indringingsweerstand in MPa						n indringingsweerstand in MPa					
		<1,9	2,0-2,9	3,0-3,9	4,0-4,9	>5,0		<1,9	2,0-2,9	3,0-3,9	4,0-4,9	>5,0	
B2	0- 5	33	9	58	27	3	3	19	47	47	6		
	5-10	33	12	42	33	9	3	18	44	44	12		
	10-15	30	10	20	37	20	13	13	23	62	8	8	
	15-20	15	13	27	47	13							
B3	0- 5	33		9	26	18	47	19	16	37	32		16
	5-10	18		6	28	22	44	11	18	36	18	18	9
	10-15	15			33	20	67						
C	0- 5	33			9	12	79	19		39	22	17	22
	5-10							15		20	27	20	33

Figuur 5 geeft het aantal wortels van graan en gras in de afzonderlijke horizonten. Er is nogal wat variatie in bewortelingsintensiteit tussen de verschillende horizonten. Eveneens is dit het geval per horizont. Van profiel tot profiel komen in de B2-horizont aanmerkelijke verschillen in aantallen wortels voor, voornamelijk als gevolg van de aanwezigheid van met het blote

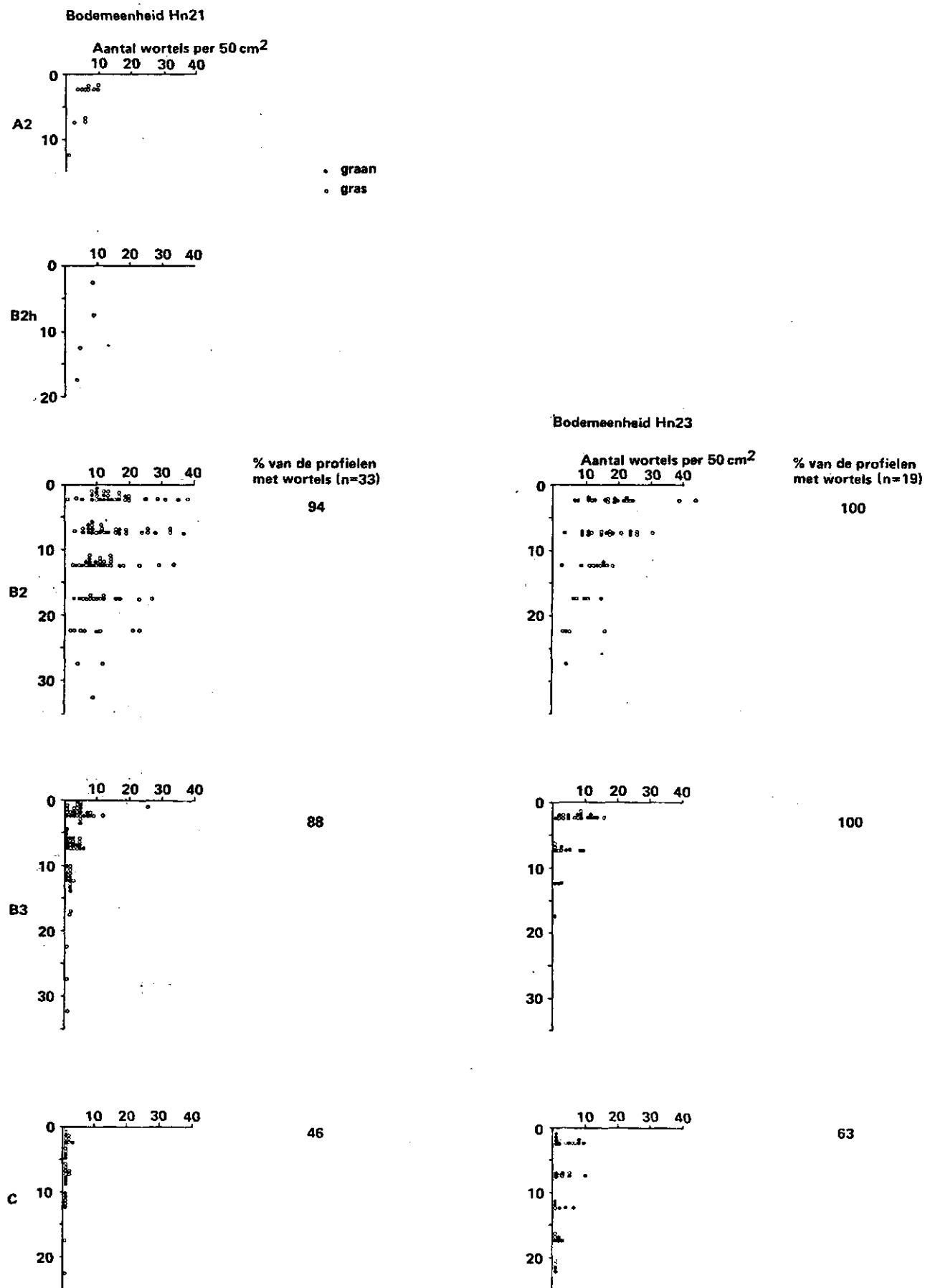


Fig. 5. Aantal wortels per 50 cm² (10 cm x 5 cm) van graan en gras

oog waarneembare openingen in het bodemskelet, de zgn. Molin a-stippen. De beperkende invloed van de mechanische weerstand blijkt duidelijk uit de snelle vermindering van het aantal wortels met de diepte, resp. uit de vrij lage wortelingsdichtheid in de B3-horizont, resp. uit de afwezigheid van wortels in de B3- of C-horizont (vergelijk tabel 5 met fig. 5). Wanneer wortels doordringen tot in de C-horizont, is het aantal dermate gering dat ze voor de werkzame worteldiepte van geen belang zijn. Vaak is dat ook al het geval vanaf het begin van de B3-horizont. Deze laag is echter vaak zo dun dat het weinig verschil maakt met de diepte waarop de C-horizont begint.

Bewortelbaarheid podzolgronden. De indringingsweerstand is in moderpodzolgronden en sterk lemige podzolgronden te hoog voor wortelgroei vanaf het begin van de C-horizont. In niet lemige of zwak lemige humuspodzolgronden kan dat al het geval zijn in de B3-horizont en soms ook nog ondieper. Een en ander heeft tot gevolg dat in holt- en horstpodzolgronden de bewortelbare diepte 40 à 100 cm bedraagt. In veldpodzolgronden ligt de worteldiepte tussen 30 en 70 cm. Hierbij zijn het ondiepst beworteld profielen met een grijze dikke A2-horizont, profielen met verkittte B-horizonten die geen met het blote oog waarneembaar poriënstelsel bevatten, en profielen met een ondiepe C-horizont. In haarpodzolgronden is de bewortelbare diepte overwegend 30 à 50 cm, doch bos heeft daarin vaak een diepere beworteling dan akkerbouwgewassen of gras.

Loo-, laar- en kamppodzolgronden hebben een humeuze bovengrond die 10 à 20 cm dikker is dan bij de eerder genoemde gronden en annex daaraan is de worteldiepte er ook 10 à 20 cm groter.

4.4 Brikgronden

4.4.1 Leembrikgronden

In zandige leembrikgronden dringen wortels door tot de C-horizont. In de Bt-horizont is de bewortelingsdichtheid echter al gauw dermate gering, dat de werkzame worteldiepte veelal ligt op 20 à 30 cm *beneden het begin van de B2t-horizont*. Dit komt overeen met een diepte van circa 70 cm (fig. 6a).

Uit waarnemingen in dikke pakketten niet en wel geërodeerde siltige leembrikgronden is gebleken, dat hier geen verband bestaat tussen bodemeigenschappen en de worteldiepte. Dit valt te verklaren doordat in deze gronden bodemfactoren wel remmend werken doch geen absolute barrière vormen voor wortelgroei. De werkzame worteldiepte kan, zeker voor bergbrik- en radebrikgronden worden gesteld op circa 100 cm - mv. (fig. 6b). Wanneer echter ondieper een ander en *niet bewortelbaar substraat* (zand, grind, krijt) voorkomt, dan bepaalt de diepte waarop dat materiaal begint, de worteldiepte. Beperkingen in de wortelgroei moeten worden toegeschreven aan een ongunstige aëratie in combinatie met een ongunstige indringingsweerstand. Door die minder gunstige fysische toestand is ook verklaarbaar, dat de wortels in de diepere ondergrond meestal worden gevonden in de relatief veel voorkomende wormgangen.

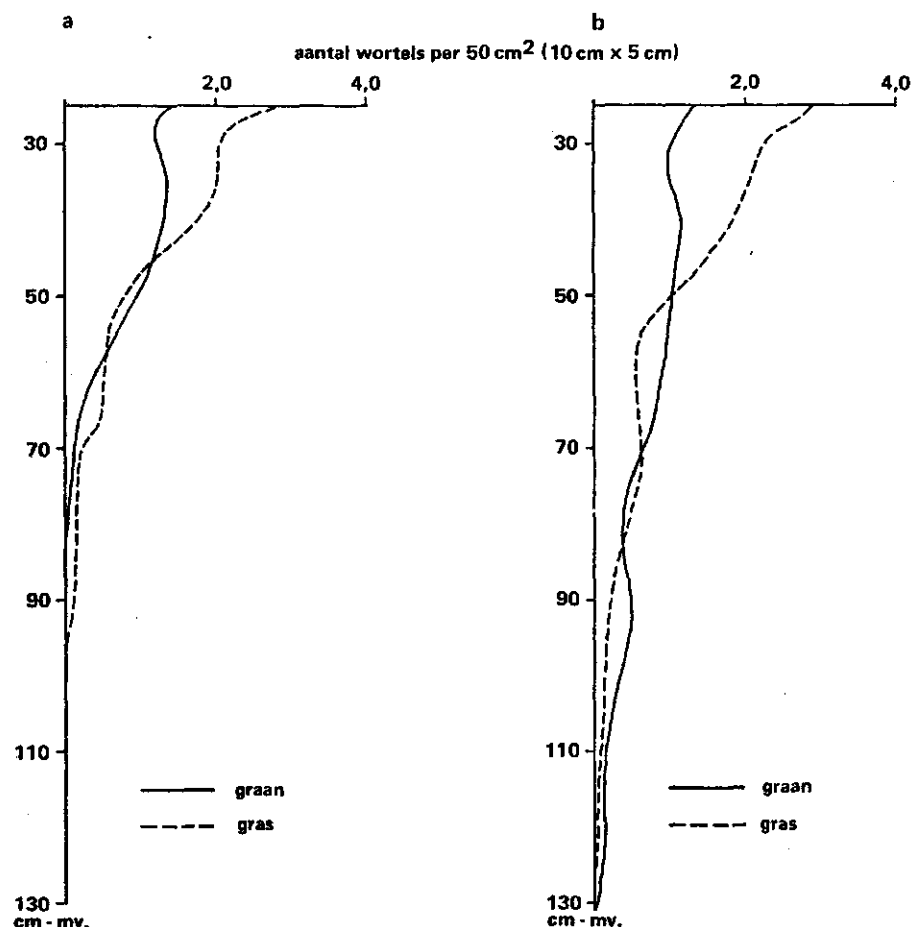


Fig. 6a en 6b. Wortelverdeling van graan en gras in twee leembrikgronden:
a. zandige leem (BLd5) en b. siltige leem (BLd6 en BLb6)

De indringingsweerstand is in zandige leembrikgronden veel te groot vanaf een diepte van circa 70 cm (fig. 7a), het niveau waarop volgens figuur 6a de bewortelingsdichtheid te wensen overlaat. Siltige leembrikgronden hebben ook in de Bt-horizont indringingsweerstand van 2 MPa en hoger (fig. 7b). Wortelgroei is dan slechts in geringe mate mogelijk; deze wordt nog verslechterd door de te beperkte aëratie. De te beperkte aëratie is af te leiden uit de lage luchtgehalten in de Bt- en Cl-horizont (tabel 6) en uit het sterk reageren van de wortelgroei op de weersomstandigheden (fig. 1).

Tabel 6. Het volumepercentage lucht bij pF 2,3 in brikgronden

Horizont	Leembrikgronden		Oude kleibrikgronden		
	BLd5	BLd6	BKn25	BKh25	BKd25
A2	13-15	12-15	11	15	12-24
Bt2	6- 8	4- 7	3-7	12-14	10-23
Bt3	4- 6	3			5-31
Cl	6	3			
C2		16-17			
D					

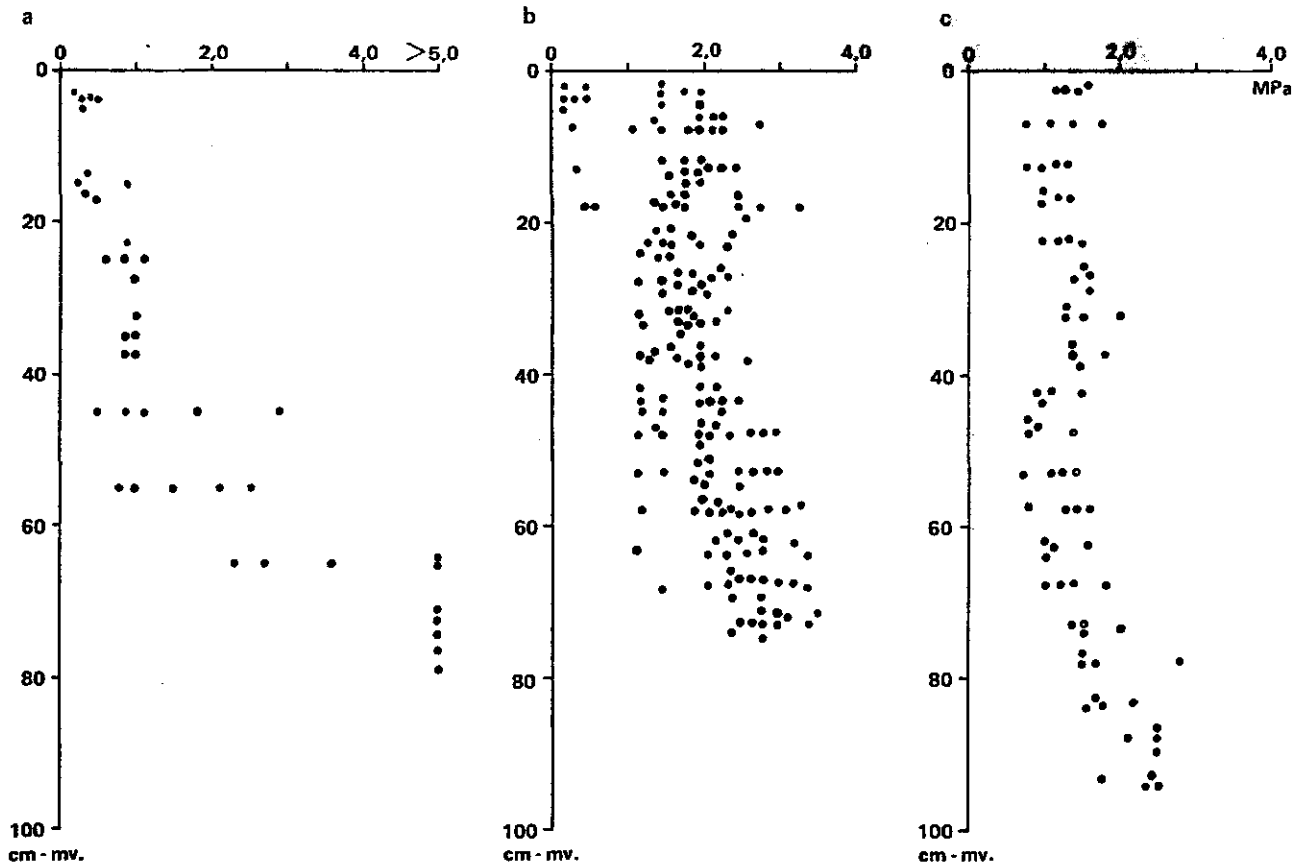


Fig. 7. Indringingsweerstand in drie representatieve profielen met radebrikgronden: a. zandige leem (BLd5), b. siltige leem (BLd6) en c. oude rivierklei (BKd25)

Het weersafhankelijke karakter van wortelgroei in leemgronden is ook aangetoond door Kmoch und Hanusch (1967). Hun onderzoek laat o.m. zien dat onder natte weersomstandigheden de wortelgroei meer afneemt naarmate de gronden meer hydromorfe kenmerken vertonen. Dit is in overeenstemming met eigen veldervaringen.

4.4.2 Oude-klei- en zandbrikgronden

In de meeste van deze gronden valt de werkzame worteldiepte samen met het begin van een zandondergrond, resp. met lagen met *fibers* of *banden* van *lutum* en *ijzer* (zie ook 4.12). In deze lagen is de indringingsweerstand te hoog. In het bovenliggend pakket klei- of kleilig materiaal is de indringingsweerstand voldoende laag voor wortelgroei (fig. 7c) en in de middelhoge (BK_h) en hoge gronden (BK_d) is ook het luchtgehalte meestal voldoende (tabel 6) voor aëratie. In de lager gelegen gronden (BK_n) kan de aëratie te wensen overlaten, doch door hun vrij grote scheurgevoeligheid is aëratie tijdens het groeiseizoen meestal wel mogelijk.

Bewortelbaarheid brikgronden. In zandige leembrikgronden blijft de werkzame worteldiepte beperkt tot circa 70 cm als gevolg van de hoge indringingsweerstand en de geringe aëratie.

In siltige leembrikgronden is er geen relatie tussen de bodemeigenschappen en de wortelgroei, tenzij er ondieper dan 100 à 120 cm (de werkzame worteldiepte voor rade- en bergbrikgronden) een niet bewortelbare laag aanwezig is. Beperkingen in wortelgroei komen voort uit een te hoge indringingsweerstand en een gebrekkige aëratie. In kuil- en daalbrikgronden is de aëratie nog sterker beperkend, wat een werkzame worteldiepte tussen 40 en 100 cm oplevert.

In oude klei- en zandbrikgronden varieert de worteldiepte meestal van 60 tot 120 cm. Dit is afhankelijk van de ligging van de aan de Bt-horizont aansluitende zandlagen met hoge indringingsweerstand.

4.5 Dikke eerdgronden

4.5.1 Enkeerdgronden

In enkeerdgronden is er een verband tussen werkzame worteldiepte en het begin van de C-horizont (fig. 8). Door een te hoge indringingsweerstand is wortelgroei in de C-horizont niet mogelijk of slechts in beperkte mate en dan tot het niveau waarop een "ijzer-B-horizont" begint of waar het begin is van fibers, banden of resten daarvan. Uitzonderingen hierop zijn ondergronden met een te vast gepakte A2- of B-horizont. Dit komt in het noorden meer voor dan in het zuiden waar het begraven profiel in de regel bestaat uit goed bewortelbare "milde humuspodzol-", moderpodzol- of vorstvaaggronden. In figuur 8 is ook te zien, dat in de laag gelegen enkeerdgronden (Gt III) de worteldiepte veelal geringer is dan in de hoger gelegen enkeerdgronden. De laag gelegen gronden hebben een dunner humeus dek, dat veelal op een weinig of niet bewortelbaar profiel van gooreerd- of beekeerdgronden ligt (par. 4.6).

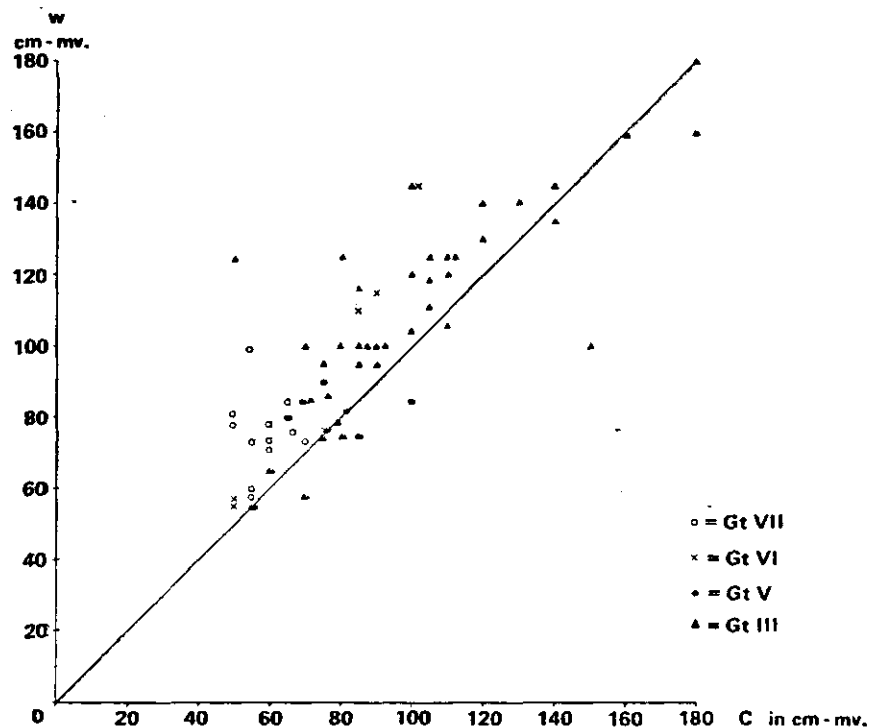


Fig. 8. Worteldiepte (w) in relatie tot de begindiepte van de C-horizont (C) in enkeerdgronden

De indringingsweerstand van de Aan-horizont van bruine enkeerdgronden is lager dan die van zwarte (fig. 9). Dit is het gevolg van de meer open structuur van de bruine Aan-horizont. Daardoor is de wortelgroei in bruine iets beter dan in zwarte enkeerdgronden. Dit is echter van ondergeschikt belang, omdat bij de indringingsweerstand van beide Aan-horizonten wortelgroei goed tot zeer goed mogelijk is. De andere fysische en chemische omstandigheden in bruine en zwarte enkeerdgronden zijn in het algemeen gunstig voor wortelgroei.

Alleen kan volgens A.H. Booij (mondelinge mededeling) in het noorden van Nederland de pH in sommige enkeerdgronden te laag zijn voor een goede wortelgroei, doch gegevens hieromtrent ontbreken.

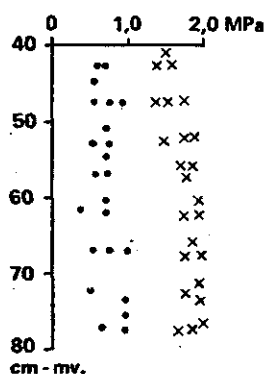


Fig. 9. Indringingsweerstand bij Aan-horizonten van zwarte (x) en bruine (.) enkeerdgronden

4.5.2 Tuineerdgronden

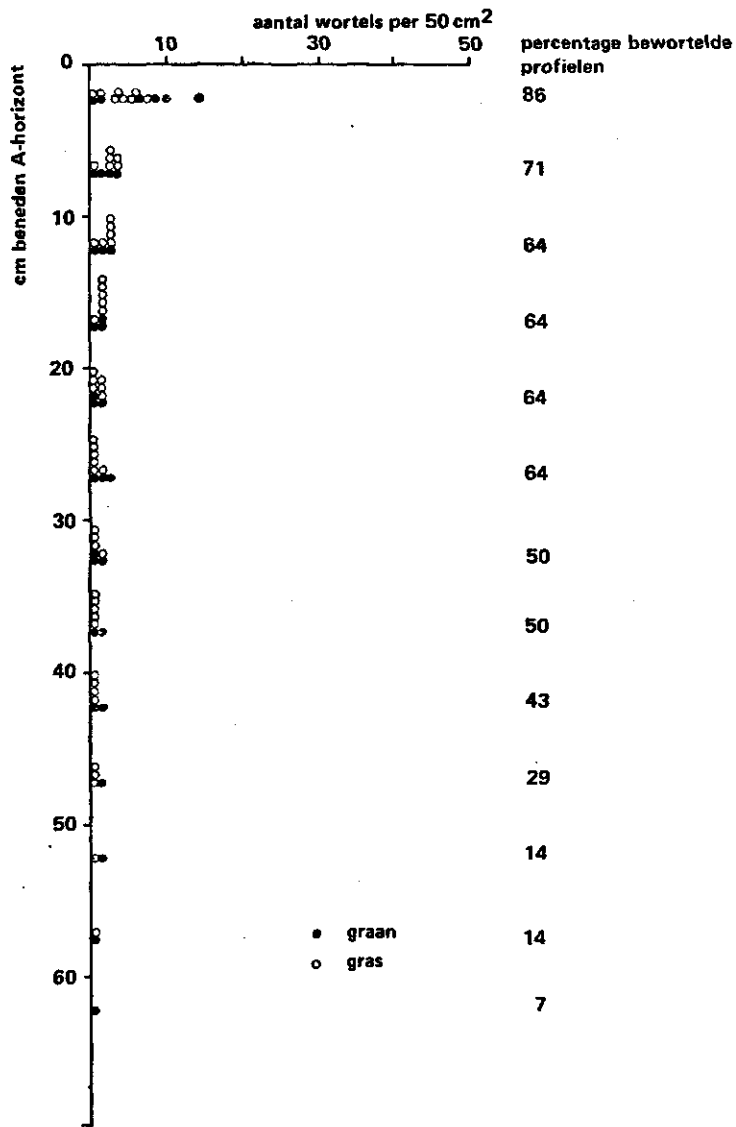
Er zijn geen gegevens bekend over het verband tussen wortelgroei en de bodemgesteldheid van tuineerdgronden. Aannemelijk is echter dat in het opgebrachte dek de wortelgroei gunstig verloopt en dat de bewortelbaarheid van het "begraven" profiel de werkzame worteldiepte bepaalt. Hiervoor wordt verwezen naar de beschrijving bij brik-, leem- of zeekleigronden.

Bewortelbaarheid eerdgronden. In enkeerdgronden vormt het begin van de C-horizont de grens van de werkzame worteldiepte vanwege de daar snel toenemende indringingsweerstand. Dit betekent dat de Aan-horizont en meestal een deel van het "begraven profiel" wordt beworteld. Afhankelijk van de aard van dat "begraven profiel" is de worteldiepte dan 0 tot 80 cm meer dan de dikte van het humeuze dek, waardoor worteldiepten van meer dan 200 cm mogelijk zijn. In het algemeen zal men echter in lage enkeerdgronden worteldiepten vinden tussen 60 en 90 cm en in hoge enkeerdgronden tussen 70 en 150 cm.

4.6 Kalkloze zandgronden

Het onderscheid tussen eerd- en vaaggronden is voor een beschrijving van de bewortelbaarheid van ondergeschikt belang. Evenals in andere zandgronden bepaalt vooral de *diepte waarop de C-horizont begint*, of de diepte van de laag aansluitend aan "de bruine laag" ("B-horizont") de werkzame worteldiepte, omdat daar de indringingsweerstand te hoog wordt voor wortelgroei. Andere beperkende bodemfactoren spelen geen rol of zijn, zoals de aëratie in lage gronden, van ondergeschikt belang.

Beekeerdgronden



Gooreerdgronden

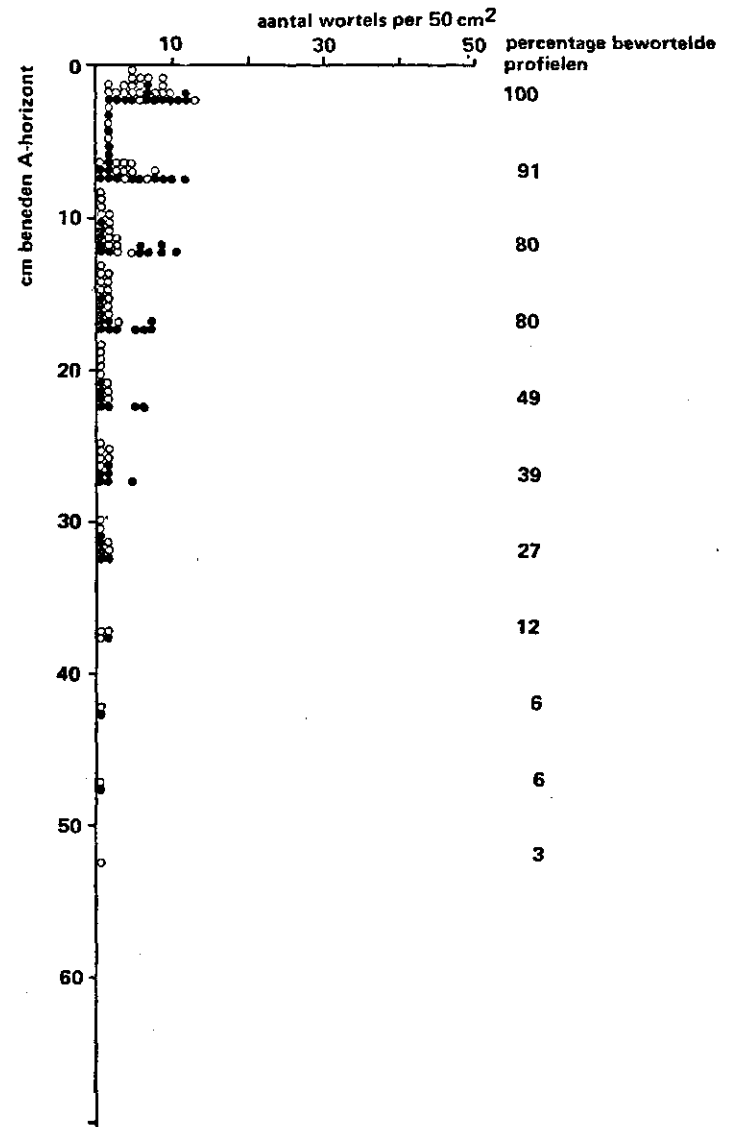


Fig. 10. Het aantal wortels beneden de A-horizont van graan en gras per 50 cm² (10 cm x 5 cm) in beekerd- en gooreerdgronden

Figuur 10 laat het verloop zien van het aantal wortels naar de diepte in het C-materiaal van beekeerd- en gooreerdgronden. Tevens is het percentage profielen vermeld waarin op een bepaalde diepte nog wortels zijn gevonden. Uit deze figuur komt naar voren dat in beide gronden vanaf de A-horizont en in een aantal gevallen 10 à 20 cm dieper, de bewortelingsdichtheid dermate laag is dat deze voor de werkzame worteldiepte te verwaarlozen is. Veelal minder dan 10% van de wortels dringt door in het C-materiaal van gooreerdgronden en 0-15% in de vaak wat dieper bewortelde beekeerdgronden. De geringe of afwezige wortelgroei in de C-horizont stemt overeen met de voor wortelgroei te hoge indringingsweerstand. Tabel 7 geeft daar een indruk van. Bij dergelijke hoge weerstanden is wortelgroei in de diepere ondergrond alleen mogelijk via een met het blote oog waarneembaar poriënstelsel. Omdat zo'n poriënstelsel meer voorkomt in beekeerd- dan in gooreerdgronden, hebben de beekeerdgronden een hoger percentage profielen met wortels in de diepere ondergrond. De "poriën" bestaan voornamelijk uit wortelresten van een vroegere houtbegroeiing. Ze worden, aansluitend aan de bovengrond, vooral gevonden in beekdalen in de nattere gronden waarin liefst ook enige lutum voorkomt. Hierin is dan wortelgroei tot op de zomergrondwaterstand mogelijk. Als gevolg van het zeer plaatselijk karakter van die kanalen kan de indringingsweerstand binnen een horizontale afstand van 10 cm wisselen van <3,0 MPa tot >8,0 MPa. Over korte afstand komen dan ook grote variaties voor in de bewortelingsdichtheid.

Tabel 7. Procentuele verdeling van indringingsweerstand in de C-horizont van 24 profielen van gooreerdgronden

Laagdikte beneden de A-horizont in cm	Indringingsweerstand in MPa				
	<1,9	2,0-2,9	3,0-3,9	4,0-4,9	>5,0
0- 5		42	17	25	17
5-10		13	46		42
10-15		4	25	21	50
15-20		4	4	21	71

In kanteerd-, akkereerd- en vorstvaaggronden is de laag, aansluitend aan de A-horizont, gehomogeniseerd, ze heeft een losse pakking en ze is dientengevolge zeker voor bomen bewortelbaar. Niet bewortelbaar is de te vast gepakte witgrijze zandondergrond waarin meestal inspoelingsbanden van ijzer en lutum een grens voor de worteldiepte vormen. Overigens wijken in dergelijke gronden de structuur, de indringingsweerstand en de wortelgroei weinig af van die in moderpodzolgronden.

In vlakvaaggronden ligt ondiep een ongestoorde C-horizont waarin wortels niet of nauwelijks kunnen doordringen vanwege de te hoge indringingsweerstand.

Binnen de duinvaaggronden verschilt de indringingsweerstand van het opgestoven materiaal sterk. De meest losse pakking hebben lagen die onder droge omstandigheden opgestoven zijn en waarin wat humus voorkomt. Fijn gelaagde humus-arme afzettingen hebben vaak indringingsweerstand van meer dan 3,0 MPa en zijn dientengevolge nauwelijks of niet bewortelbaar. Is het opgestoven materiaal voldoende los, wat waarschijnlijk minder voorkomt dan men denkt, dan kunnen wortels tot meestal in het overstoven profiel doordringen. De bewortelbaarheid hiervan bepaalt dan de ondergrens van de wortelgroei. Zo vermeldt Schelling (1955, 1960) dat in stuifzand tot op een diepte van 2 à 3 m wortels van grove dennen kunnen penetreren in overstoven profielen. Overigens zijn de mogelijkheden voor wortelgroei van bos in stuifzand groter dan die van gras of akkerbouwgewassen. Mogelijk moet hiervan de oorzaak worden gezocht in de indringingsweerstand, die een snelle wortelgroei van gras en akkerbouwgewassen remt, gecombineerd met een laag vochtgehalte en een ongunstig chemisch milieu.

Bewortelbaarheid kalkloze zandgronden. In ongestoorde kalkloze zandgronden zonder ijzerhuidjes valt de werkzame worteldiepte ongeveer samen met het begin van de C-horizont. Met andere woorden: de werkzame worteldiepte in beekerdgronden, gooreerdgronden en vlakvaaggronden ligt veelal op 20 à 40 cm - mv. Wel is in laag gelegen gronden plaatselijk via fossiele wortelgangen in de C-horizont, geringe wortelgroei tot op het niveau van de zomergrondwaterstand mogelijk.

In gronden met ijzerhuidjes kunnen wortels tot in de C-horizont groeien. Daarbij worden gronden met een "bruine laag" meestal het diepst beworteld; een werkzame worteldiepte van 40 à 80 cm is dan regel. Wortels van graan en gras dringen meestal minder diep door in gronden met ijzerhuidjes dan wortels van bos; hiervan komen, zeker in dik opgestoven duinvaaggronden, worteldiepten van 1,50 m en meer regelmatig voor.

4.7 Kalkhoudende zandgronden

De samenhang tussen worteldiepte en profieleigenschappen is in kalkhoudend kleiarm zand (<5% lutum) niet afwijkend van die, in kalkloze zandgronden, doordat ook hier in het C-materiaal de *indringingsweerstand* te hoog is (zie in fig. 11 de hoge indringingsweerstand >30 cm - mv.). Weliswaar is in zeezand het poriëngehalte van de C-horizont hoger dan in dekzand (resp. 40-45 en 33-40 vol.%), doch dit heeft nauwelijks of geen betekenis voor de wortelgroei.

In kalkhoudend kleilig zand (5-8% lutum) is volgens Hoekstra en Van Wallenburg (1969), Hoekstra (1971) en Jonker (1958) de wortelgroei mogelijk. Deze is echter meestal beperkt, wat kan worden toegeschreven aan de indringingsweerstand (2,5-3,5 MPa), vaak in combinatie met een minder goede aëratie.

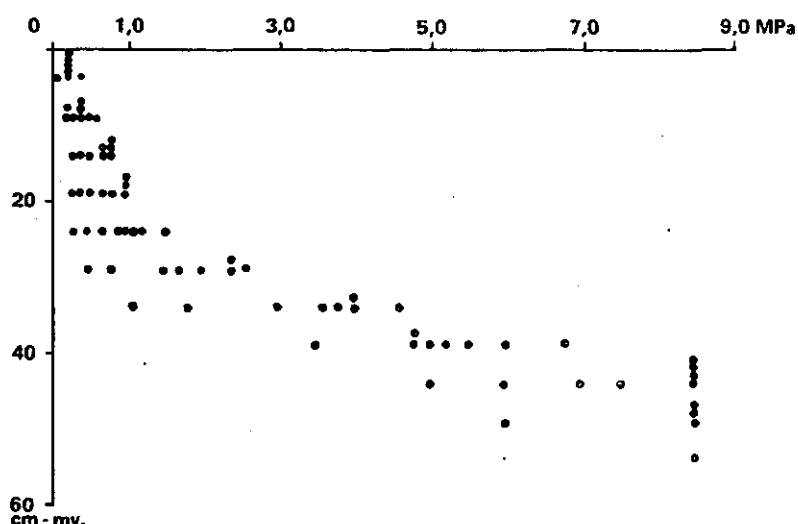


Fig. 11. Indringingsweerstand in een kalkrijke vlakvaaggrond (zeezand)

Bewortelbaarheid kalkhoudende zandgronden. Bij eenzelfde profielopbouw is de worteldiepte in kleiarm zand (zie par. 4.6) minder groot dan in kleiig zand. Voor laatstgenoemd materiaal ligt de werkzame worteldiepte veelal tussen 40 en 60 cm.

4.8 Niet gerijpte minerale gronden

In de hiertoe behorende slikvaaggronden is nauwelijks wortelgroei mogelijk; in gorsvaaggronden tot een beperkte diepte (<50 cm). Een en ander wordt veroorzaakt door te geringe aëratiemogelijkheden als gevolg van het te natte karakter van niet gerijpte gronden. Bovendien kan in het mariene gebied het zoutgehalte voor wortelgroei van de meeste gewassen te hoog zijn.

4.9 Zeekleigronden

De meest voorkomende beperkende bodemfactor voor wortelgroei in gronden met meer dan 8% lutum is aëratie. Als gevolg daarvan is er in deze gronden verband tussen worteldiepte en resp. *zomergrondwaterstand*, *een niet-gerijpte ondergrond* en *aëratiediepte*, mits het profiel bestaat uit zware zavel of klei. In zavel wordt de worteldiepte overwegend bepaald door de *structuur*. De werkzame worteldiepte valt dan vaak samen met het einde van de gehomogeniseerde laag of met het begin van een duidelijke gelaagdheid of van een laag met een steviger consistentie van het bodemmateriaal.

Verder kan de worteldiepte in kleigronden samenvallen met het *begin van een veenlaag*, het *begin van een zandlaag* en het niveau waarop *kattekleivlekken* beginnen.

Figuur 12 laat zien dat in kleilagen bij pF 2,0 het luchtgehalte veelal lager is dan 10 à 15 vol.%. Omdat beneden deze waarden aëratie beperkt of onmogelijk is, kan de bodemluchthuishouding in de meeste kleigronden de wortel-

groei beperken. De pH is, behalve in katteklei, niet beperkend voor de wortelgroei. De indringingsweerstand in zavel- en kleigronden is van dien aard (tabel 2) dat hooguit in lichte zavel enige beperkingen voor de wortelgroei mogen worden verwacht. Mogelijk levert hier een combinatie van gebrekkige luchthuishouding en een wat hoge indringingsweerstand een nadelig effect op dat iets groter is dan op basis van alleen de indringingsweerstand mag worden verwacht. De gevolgen daarvan zullen echter veelal beperkt zijn tot een wat vertraagde wortelgroei en een wat minder grote bewortelingsdichtheid.

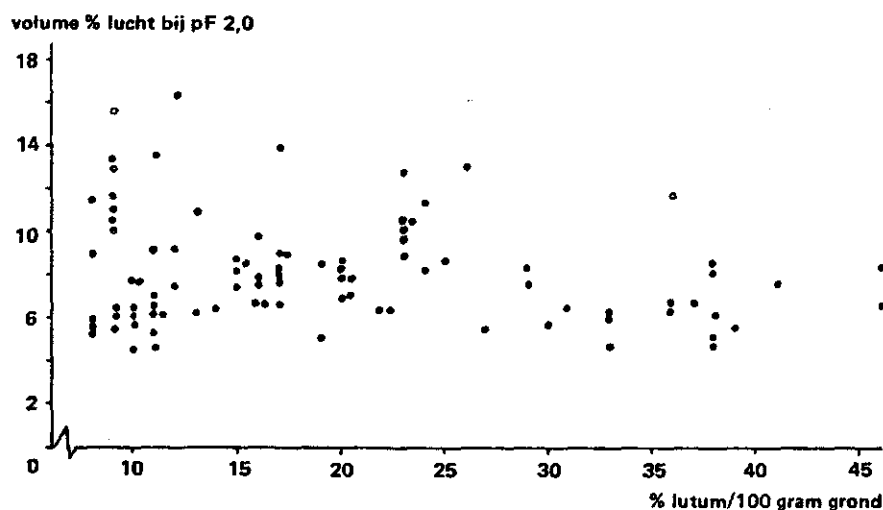


Fig. 12. Verband tussen het lutumgehalte en het volumepercentage lucht bij pF 2,0 voor gerijpte kalkrijke zavel- en zeekleilagen met minder dan 2% humus (Stichting voor Bodemkartering, 1972)

Figuur 12 laat ook zien dat er tussen het luchtgehalte bij pF 2,0 en het lutumgehalte weinig verband bestaat. Hoogstens kan men stellen, dat bij pF 2,0 in zavellagen hogere luchtgehalten voor kunnen komen dan in kleilagen. Jongerius (1964) wijst erop dat structuurgrenzen vaak niet samenvallen met horizontgrenzen. Een en ander maakt, dat van veel diepe kleigronden nog niet goed kan worden aangegeven welke combinatie van bodemeigenschappen de wortelgroei beïnvloedt. Wel is het, gezien de beperkte aëratiemogelijkheden, duidelijk dat de poriënverdeling en dus de structuur een belangrijke rol speelt. De ervaring in deze gronden is dan ook, dat wortelgroei vooral samenhangt met de aanwezigheid van een met het blote oog zichtbaar poriën- of gangenstelsel, mits dit aansluit aan de bovengrond. Op basis hiervan kan men een onderscheid maken in:

- gronden die scheuren (klei en vaak ook zware zavel)
- gronden die weinig scheuren (zavel, vooral lichte zavel).

4.9.1 Bewortelbaarheid van klei en zware zavel

Door vochtonttrekking ontstaan in zwaardere gronden snel krimpscheuren, vaak tot ongeveer het niveau waarop alle poriën met water gevuld zijn. Via die scheuren is een snelle aëratie mogelijk. Begrijpelijk is dan ook, dat in dikke pakketten niet te lichte kleigronden een verband is gevonden tussen worteldiepte

en resp. zomergrondwaterstand (Schäffner, 1962, De Smet e.a., 1970), GLG-niveau (fig. 13), aëratiediepte (Jonker, 1958; Segeren en Visser, 1971) en een niet-ge-rijpte ondergrond. In goed gefragmenteerde gronden ligt de werkzame worteldiepte op het niveau waarop de capillaire wateraanvoer voldoende is voor de vochtbe-
hoefte van het gewas.

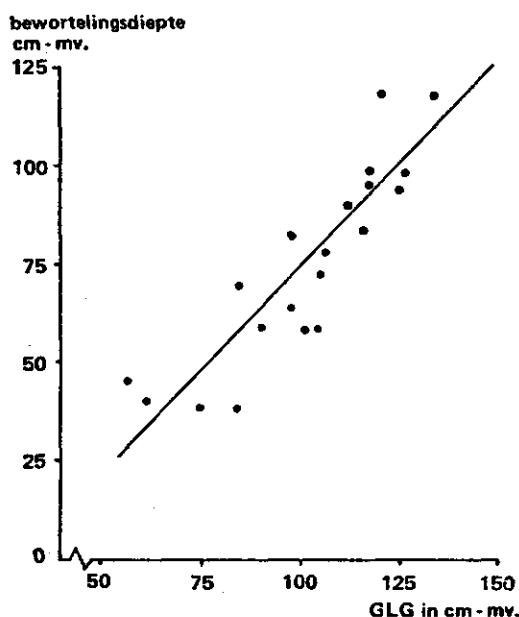


Fig. 13. Het verband tussen de bewortelingsdiepte van Jonathan (appel) en de gemiddelde laagste grondwaterstand (GLG) in zware rivierkleigronden (Van Dam, 1973)

In gronden met krimp-scheuren dringen de wortels de structuurelementen slechts binnen, indien deze voldoende grote poriën hebben. Dikwijls zijn dergelijke poriën niet aanwezig, zodat de bewortelingsdichtheid en wortelverdeling in de zwaardere kleigronden in hoge mate wordt bepaald door de fragmentatiegraad. Daarbij is in gronden met samengestelde prisma's met scherp blokkige elementen de luchthuishouding vaak wat ongunstiger en daarmee ook de wortelgroei dan in gronden met samengestelde prisma's met afgerond blokkige elementen (tabel 8).

Tabel 8. Vol.% lucht bij pF 2,0 in verschillende structuurtypen bij kalkrijke lagen in zeekleigronden (Stichting voor Bodemkartering, 1972)

Structuurtype	Aantal waarne- mingen	Gemiddeld lucht- volume	Standaard- afwijking	90% betrouw- baarheids- traject
Poreuze spons	29	9,5	2,4	5,9 - 13,6
Fijne poreuze spons en gangen	19	6,3	1,2	5,1 - 7,5
Gestapelde platen (soms pris- matisch)	14	8,4	2,7	4,4 - 12,4
Samengestelde prisma's bestaan- de uit blokkige elementen	11	6,7	1,2	4,9 - 8,5
Samengestelde prisma's bestaan- de uit afgerond blokkige ele- menten	18	8,9	2,9	4,6 - 13,2
Enkelvoudige prisma's	5	7,3	1,5	5,0 - 9,6
Kleilig uiterst fijn zand, iets gelaagd tot gelaagd	16	11,6	3,6	6,8 - 16,4

In veel zware gronden en in knip- en knippige gronden komen ondiep eenvoudige prisma's voor. Op de wanden van die prisma's is, zeker in droge jaren, nog een vrij grote bewortelingsdichtheid mogelijk. De onderlinge afstand van de scheuren en het vaak geringe contact van wortels met de grond maakt echter een goed functioneren van die wortels onmogelijk. Daardoor zal de werkzame worteldiepte vaak beduidend minder zijn dan de totale worteldiepte.

4.9.2 Bewortelbaarheid van zavel

Zavel en zeker lichte zavel, heeft weinig neiging tot scheuren en is sterk opdrachtig. Door dit laatste kan, althans bij de in Nederland veel voorkomende grondwaterstanden, de zuigspanning en daarmee het luchtgehalte, slechts weinig toenemen. Dit betekent dat reeds op enkele decimeters beneden het maaiveld in lagen met een te dichte structuur de aëratie ook tijdens het groeiseizoen onvoldoende kan zijn voor een goede wortelgroei. Van een verband tussen worteldiepte en grondwaterstand is in de meeste profielen met een ondergrond van zavel dan ook geen sprake (Hoekstra en Van Wallenburg, 1969, Hoekstra, 1971; De Smet e.a. 1970).

De figuren 14a en b illustreren de betekenis van de structuur voor wortelgroei van fruitbomen. Andere gewassen reageren in principe hetzelfde met hun wortelgroei. Beide profielen zijn lichte zavelen en in beide gevallen is de zomergrondwaterstand belangrijk dieper dan de worteldiepte. In figuur 14a is op circa 50 cm - mv. een laag met voornamelijk nauwe poriën aanwezig. De lagen erboven en erbeneden hebben wel een gunstige poriëndistributie. Het wortelbeeld laat zien dat de laag op circa 50 cm - mv. ook de aëratie belemmert in de diepere ondergrond met een gunstige structuur. De wortels komen vanaf circa 50 cm - mv. vooral voor in of nabij de grotere holten of poriën; het aantal fijne wortels neemt relatief gezien sterk af en het aantal dode wortels sterk toe.

In figuur 14b heeft de zavel tot circa 60 cm een voor aëratie te dichte structuur. Dit belemmert de aëratie van de onder liggende laag die een goede structuur heeft. De worteldiepte is dan ook gering; in de te dichte bodemlaag komen zeer weinig fijne wortels voor, en de wortelgroei beperkt zich tot de grotere holten, zoals in dit geval fossiele wortelkanalen. Een en ander betekent dat in zavel de ondergrens van de werkzame worteldiepte ligt op ongeveer het niveau waar de laag met een te geringe aëratie begint. Daarbeneden is het wortelstelsel ijl, heterogeen en vaak ook van slechte kwaliteit (dode wortels, relatief veel dikke wortels, weinig vertakking e.d.), waardoor de werkzaamheid ervan te wensen zal overlaten.

Een ervaren karteerder herkent de lagen met overwegend te nauwe poriën aan de vastere structuur, aan de gelaagdheid van het materiaal en aan de grijzere kleuren. Minder gunstige structuren komen zowel in kalkrijk als kalkarm materi-

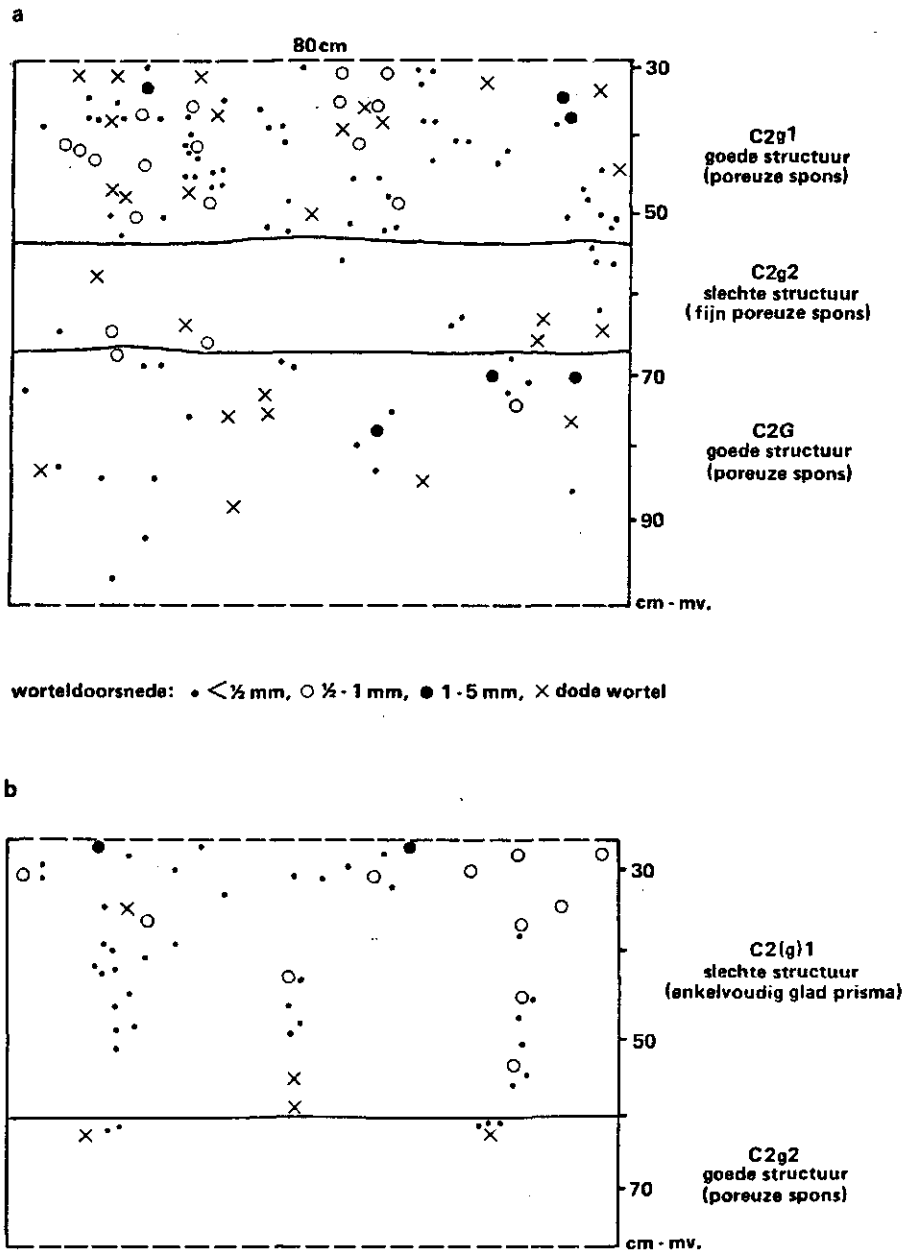


Fig. 14 a en b. Wortelbeelden van fruitbomen beneden de Ap-horizont in lichte zavelgronden (naar Hoekstra en Van Wallenburg, 1969)

aal voor. Uit gegevens van Hoekstra en Van Wallenburg (1969), Hoekstra (1971) en De Smet e.a. (1970) blijkt dan ook dat er geen verband bestaat tussen wortelgroei en de kalktoestand van de grond.

Voor het beschrijven van de structuur baseert men zich tegenwoordig voornamelijk op de structuurindeling van Jongerius (1957). Voor diverse structuurtypen uit dat schema geeft tabel 8 een overzicht van het luchtgehalte bij pF 2,0. Binnen elk type blijkt een grote spreiding van luchtgehalte voor te komen; ook bij de als gunstig ervaren structuren als bijv. een poreuze spons komen varianten voor met veel te lage luchtgehalten. Het is dan ook begrijpelijk dat men, werkend met deze indeling, niet steeds een duidelijke relatie vindt tussen structuur en wortelgroei. Niettemin is uit ervaringen van Hoekstra en Van Wallenburg (1969), Hoekstra (1971), Hulshof e.a. (1960) en Van der Kloes (1965) gebleken dat in structuren die volgens tabel 8 overwegend lage luchtgehalten hebben, bijv. een fijn poreuze spons, de wortelgroei vaak sterk achterblijft bij structuren met een hoger luchtgehalte, zoals poreuze spons of samengestelde prisma's met afgerond blokkige elementen.

4.9.3 Kleigronden met veenlagen

Jonker (1958) heeft geconstateerd, dat in een veenondergrond wel wortelgroei mogelijk is, doch Goedewaagen (1955), Hoekstra en Van Wallenburg (1969), Hoekstra (1971), Van der Schaaf (1955) en De Smet e.a. (1970) vonden dat in een veenondergrond nauwelijks of geen wortels penetreren. De oorzaken hiervan kunnen een te geringe aëratie en plaatselijk een te hoog zoutgehalte of een te lage pH zijn.

4.9.4 Kleigronden met zandlagen

Kleiarme zandlagen in kleigronden hebben een dermate hoge indringingsweerstand (>3,5 MPa) dat wortelgroei onmogelijk is; derhalve is het begin van zo'n zandlaag de grens voor de worteldiepte (Goedewaagen e.a., 1955). De indringingsweerstand in kleiig zand bedraagt 2,5 à 3,5 MPa. Dit betekent zeer beperkte mogelijkheden voor wortelgroei, wat ook werd vastgesteld door Hoekstra en Van Wallenburg (1969), Hoekstra (1971) en Jonker (1958).

Volgens Sonneveld (1958) vormen zandlagen van 10 cm dik reeds een absolute belemmering voor wortelgroei. Jonker (1958) legt de grens bij een laagdikte van 3 cm. In de praktijk worden zandlagen echter ook wel eens door wortels overbrugd via grote poriën als wormgangen of fossiele wortelkanalen; Butijn (1954), Hoekstra en Van Wallenburg (1969) en Jonker (1958) wijzen erop dat de wortels zich weer normaal vertakken indien ze slibrijkere lagen bereiken. Op deze wijze kan er een zeer onregelmatige wortelverdeling ontstaan met toch een behoorlijke

worteldiepte. Wortels kunnen ook penetreren in een B-horizont van een "begraven podzolprofiel" (Goedewaagen en Schuurman, 1955; Jonker, 1958) waardoor de worteldiepte groter kan zijn dan de diepte waarop het zand begint.

Vaak vindt men in klei op zand in het kleipakket een grotere bewortelingsdichtheid dan in overeenkomstige gronden zonder zandondergrond. Waarschijnlijk ten onrechte wordt dit verschil toegeschreven aan een compenserend effect van de wortelgroei als gevolg van een geringere worteldiepte. Mogelijk is een betere verklaring de gunstiger bodemluchthuishouding, die dan vooral het gevolg is van een geringere capillaire aanvoer van water naar de wortelzone.

4.9.5 Katteklei

Katteklei komt voornamelijk voor in plaseerd- en tochteerdgronden. De fletsgele katteklevlekken beginnen meestal tussen 25 en 45 cm - mv. (Van Wal-
lenburg, 1975). Op dat niveau belemmert de te lage pH de wortelgroei. Niet elke katteklei heeft een te lage pH. Dan dringen wortels ook dieper in de grond. Mede als gevolg daarvan hebben dergelijke gronden vaak een meer gerijpte ondergrond.

4.9.6 Opmerkingen

Het luchtgehalte boven het grondwater is in de meeste kleigronden geen absolute grens voor wortelgroei. Het lage luchtgehalte betekent echter wel een gebrekkige aëratie en daarmee vormt het een min of meer grote remming voor de wortelontwikkeling. Het gevolg van de geremde wortelgroei kan zijn het ontbreken van een duidelijke relatie tussen bodemeigenschappen en wortelgroei. Eveneens zullen door verschillen tussen gewassen onderling in gevoeligheid voor tekortkomingen in de bodemluchthuishouding of door de afhankelijkheid van aëratie van weersomstandigheden in kleigronden in een zelfde grond verschillen op kunnen treden in worteldiepte, bewortelingsdichtheid en gezondheid der wortels. Een en ander maakt het moeilijk om voor elke omstandigheid voor kleigronden met één maat aan te geven wat de mogelijkheden voor wortelgroei precies zijn.

Bij veel kleigronden is het mogelijk dat ook de indringingsweerstand enigszins de wortelgroei beperkt. Immers, bij een beperkte aëratie concentreert de wortelontwikkeling zich in en nabij de grotere poriën en holten. Wanneer dan de wortels vocht aan de grond onttrekken, kan in de naaste omgeving het luchtgehalte maar ook de indringingsweerstand toenemen. Dit kan vooral de horizontale uitbreiding van het wortelstelsel nadelig beïnvloeden. Op de dieptegroei kan het nauwelijks invloed hebben, omdat de vochtspanning en daarmee de indringingsweerstand, pas in voldoende mate kan toenemen als er al wortels in een laag zijn doorgedrongen.

Bewortelbaarheid kleigronden. Door de grote invloed van aëratie in het kleipakket laten grondwaterstanden, behorende bij Gt I t/m IV, een worteldiepte toe van 30 à 100 cm, die hoofdzakelijk bepaald wordt door de zomergrondwaterstand resp. de GLG. Bij overige Gt's zijn worteldiepten van 100 à 200 cm zeker mogelijk, doch dat alles alleen als het kleipakket voldoende dik is en het luchtgehalte, resp. de structuur, dit toelaat. Dit is meestal het geval in gronden die tot op grote diepte voldoende zwaar zijn voor scheurvorming. Wanneer ook nog voldoende fragmentatie optreedt, ontstaat er een relatie tussen (werkzame) worteldiepte en ongeveer het niveau waarop vrijwel alle poriën zijn gevuld met water. In gronden met enkelvoudige prisma's zoals bij knipgronden en knippige gronden, is de bewortelingsdichtheid en wortelverdeling ongunstig, zodat de werkzame worteldiepte veelal minder dan 50 cm is, ondanks een vaak tot ongeveer het grondwater reikend wortelstelsel.

Aëratie is in lichte en soms ook in zware zavel vaak niet goed mogelijk. Daardoor blijft, ook bij Gt V en VI, de (werkzame) worteldiepte meestal beperkt tot 40 à 80 cm. Deze is dan sterk afhankelijk van de meest ondiep voorkomende laag met voor aëratie te nauwe poriën. Overigens zijn in gronden met een te beperkte aëratie de weersomstandigheden en de gewaseigenschappen mede bepalend voor de vorming van het wortelstelsel.

In een ondergrond van veen of zand dringen meestal geen wortels door, zodat in gronden met profielverloop 1 worteldiepten van 40 à 80 cm voorkomen en in gronden met profielverloop 2 worteldiepten van 30 à 80 cm. Is katteklei aanwezig dan bepaalt meestal de diepte waarop gele vlekken beginnen de worteldiepte; dit is in de regel minder dan 50 cm - mv. diep.

4.10 Rivierkleigronden

De bewortelbaarheid van rivierklei wordt bepaald door dezelfde bodemomstandigheden en beperkende bodemfactoren als in zeeklei. Katteklei komt in rivierklei echter niet voor. Voor een beschrijving wordt verder verwezen naar de vorige paragraaf. Wel moet volledigheidshalve nog worden opgemerkt, dat het rivierkleigebied een grotere oppervlakte ooivaag- en hofeerdgronden heeft dan het zeekleigebied. Ook is karakteristiek de aanwezigheid van komgronden. In ooivaag- en hofeerdgronden is, aansluitend aan de Ap-horizont, de grond bruin van kleur en gehomogeniseerd. Dit duidt op een betere aëratie, hetgeen gunstig is voor de wortelgroei. In dergelijke gronden kan ook in zavel de wortelgroei intensief zijn; werkzame worteldiepten van 100 cm en meer zijn dan zeker mogelijk (fig. 14).

Komgronden bevatten, evenals andere zware kleigronden, bij pF 2,0 luchtgehalten van circa 5%; in laklagen bedragen ze vaak 3% of minder. De ondergrond bestaat uit grote enkelvoudige prisma's, waarlangs wortelgroei tot het grondwater, resp. GLG-niveau (fig. 13) mogelijk is. Uit gegevens van Minderhoud (1960) komt echter naar voren dat vanaf circa 10 cm - mv. de bewortelingsdichtheid van diverse gewassen sterk afneemt en dat deze vanaf 30 à 40 cm steeds gering is. Zo bevat bij worteldiepten van 100 cm de laag dieper dan 20 cm vrijwel steeds minder dan 20% wortels; dieper dan 30 à 40 cm is per laag van 10 cm dikte het percentage wortels 3 of minder. Als gevolg van deze geringe bewortelingsdichtheid, de ongunstige verdeling en het geringe contact van de wortels met de grond, is de werkzame worteldiepte, ook in diep ontwaterde komgronden, niet meer dan 30 à 40 cm.

4.11 Oude kleigronden

4.11.1 Oude rivierklei

In oude rivierklei (zie ook par. 4.4.5) komt vaak ondieper dan 150 cm zand voor met een te hoge mechanische weerstand voor wortelgroei (fig. 15). Het bovenliggend kleipakket heeft meestal een fragmentatie die gunstig is voor wortelgroei. Ook heeft het kleipakket een voldoende hoge pH en een voldoende lage indringingsweerstand. Daarom is hier slechts bij een ondiepe zomergrondwaterstand of bij een leemlaag in de ondergrond met te dichte structuur wortelgroei tot de zandondergrond onmogelijk.

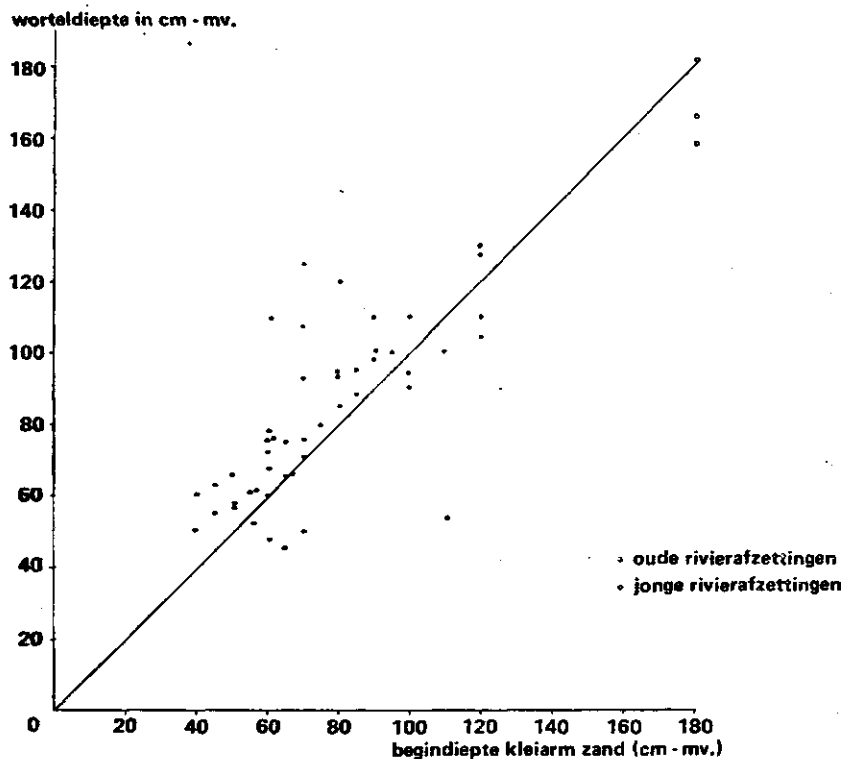


Fig. 15. Verband tussen worteldiepte en begindiepte van kleiarm zand in oude rivierafzettingen en in jonge rivierafzettingen (ooivaaggronden)

4.11.2 Andere oude kleigronden

In kleefaarde, glauconietklei, krijtgronden, keileem e.d. kunnen wortels slechts zeer ondiep doordringen vanwege een te geringe aëratie en/of te hoge indringingsweerstand. Wel kunnen via zeer plaatselijk voorkomende scheuren incidenteel boomwortels dieper komen.

Bewortelbaarheid oude kleigronden. In oude rivierkleigronden bereiken de wortels vaak een diepte van 40 à 130 cm. Dit wordt meestal bepaald door de diepte van de zandondergrond. In de overige oude kleigronden is de worteldiepte vaak minder dan 50 cm vanwege een te geringe aëratie en/of een te hoge indringingsweerstand.

4.12 Leemgronden

Van leemgronden is nog niet voldoende bekend welke bodemeigenschappen de wortelgroei beperken. Waarschijnlijk vormt de aëratie de belangrijkste beperking vaak in combinatie met indringingsweerstand. Wel laat figuur 16 met telkens van één perceel wortels van een gooreerdgrond en van een leek/woudeerdgrond zien dat een hoger leemgehalte gepaard kan gaan met een diepere wortelgroei. Dit suggereert een relatie tussen wortelgroei en leemgehalte. Uit het verloop van de bewortelingsdichtheid in figuur 16 kan men echter ook zien dat de verschillen in werkzame worteldiepte niet groot zijn en dat in dit geval in de zandige leem (leek- en woudeerdgronden) de werkzame worteldiepte 50 à 60 cm bedraagt ofwel ligt op 20 à 30 cm beneden de A-horizont. Voor de minder leemige gooreerdgrond is in dit voorbeeld de werkzame worteldiepte 35 à 40 cm.

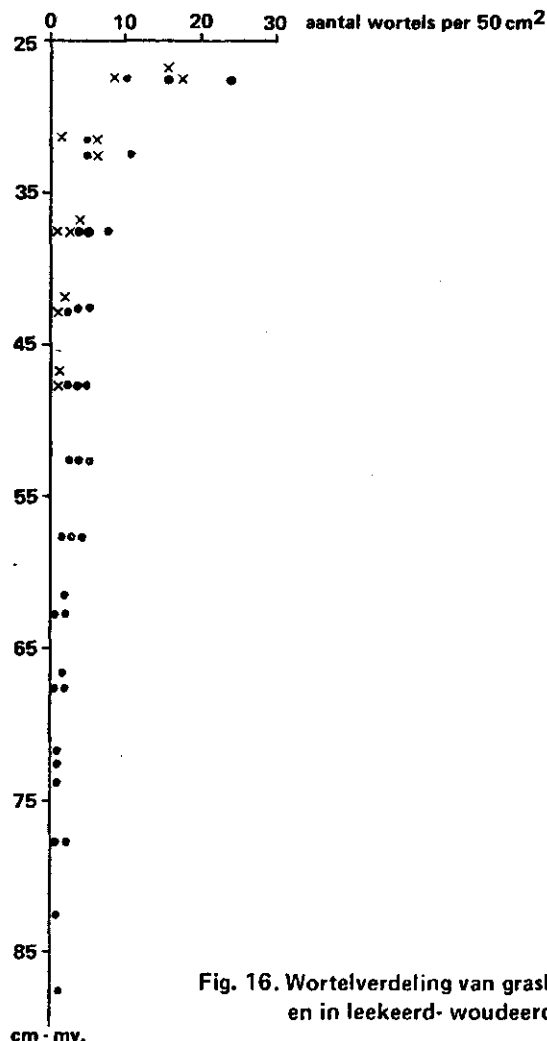


Fig. 16. Wortelverdeling van grasland in gooreerdgronden: sterk leemig fijn zand (x), en in leek- en woudeerdgronden: zandige leem (•)

Figuur 17 geeft het verloop van wortelgroei in de zwaarteklasse siltige leem. De opnamen zijn in 1969 gedaan in het lössgebied in het zuiden van Limburg. Men ziet dat, zeker in colluviale lössgronden, geen grote bewortelingsdichtheid is gevonden en dat de worteldiepte sterk verschilt. De belangrijkste oorzaak daarvan is een te dichte structuur die een goede aëratie verhindert

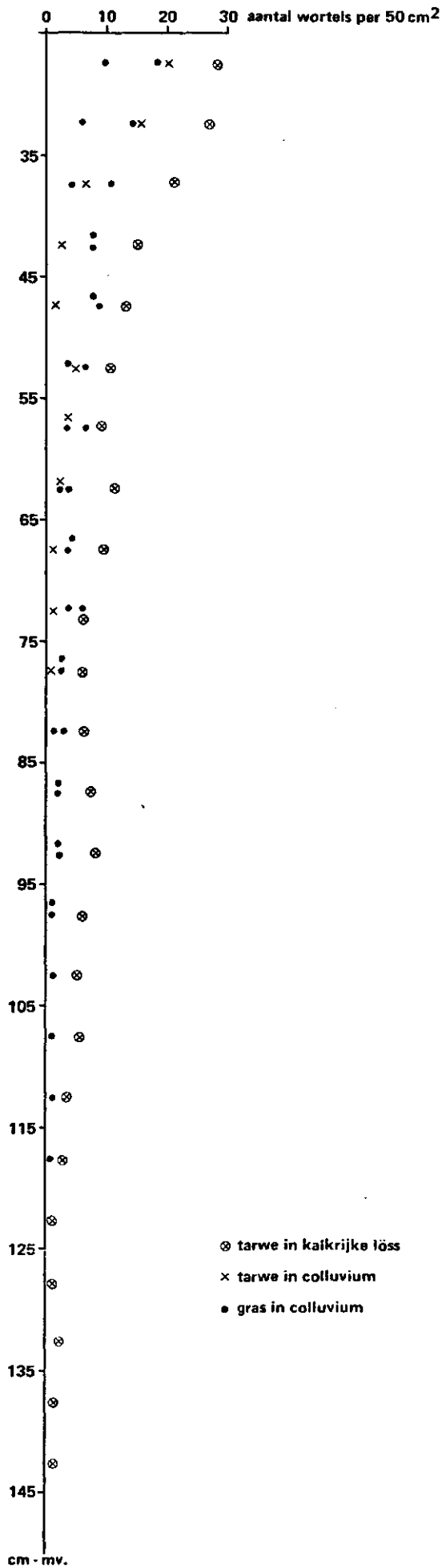


Fig. 17. Wortelverdeling van gras en tarwe in siltige leemgrond (ooivaaggrond)

(luchtgehalten bij pF 2,3 <10%). Geheel in overeenstemming met de hogere luchtgehalten in kalkrijke löss (luchtgehalte bij pF 2,3 circa 16%, C2-horizont, tabel 6) komt hierin een diepere wortelgroei voor met ook een grotere bewortelingsdichtheid (fig. 17).

Bewortelbaarheid leemgronden. In leemgronden is er geen duidelijke relatie tussen wortelgroei en bodemeigenschappen. De werkzame worteldiepte in zandige leem ligt meestal tussen 40 en 70 cm; in siltige leem is dat in kalkloos materiaal tussen 50 en 80 cm en in kalkrijk materiaal tussen 100 en 120 cm.

5. SAMENVATTING

Beschreven zijn relaties tussen de eigenschappen van de grond en de wortelgroei daarbij is in het bijzonder aandacht besteed aan de bodemeigenschappen en de bodemfactoren die de bewortelbare diepte beperken (tabel 9). Het doel hiervan is de veldbodemkundigen gegevens te verschaffen, waarmee zij zich een oordeel kunnen vormen over de (werkzame) worteldiepte van de verschillende gronden. De beschrijving sluit aan op de legenda-indeling die voor de kartering van de Bodemkaart van Nederland, schaal 1:50 000, wordt gebruikt.

Tabel 9. Verband bodemeigenschappen en worteldiepte

Hoofdklassen van de legenda van de bodem- kaart, schaal 1:50 000	Grens van (werkzame) worteldiepte	Beperkende bodemfactoren			Opmerkingen
		te lage pH	onvol- doende aëratie	te hoge indrings- weerstand	
Veengronden	- onderzijde van laag met korrelig aanvoelende structuurelementen - in "grof" veen via o.m. hout- of rietresten tot GLG-niveau	x	x		pH alleen beperkend in veenkoloniale gronden; werkzame diepte veelal niet meer dan de veraarde laag
Moerige gronden	- voor moerige lagen onder bouwvoor: zie veengronden - voor zandondergrond: zie podzolgronden, resp. kalkloze zandgronden - voor ondergrond met zavel of klei: zie zeekleigronden	x	x	x	
Podzolgronden	- begin van de C-horizont behalve bij aanwezigheid van een sterk verkitten B-horizont			x	vooral in haarpodzolgronden met een "milde ondergrond" dringen wortels veelal dieper door dan wortels van akkerbouwgewassen of gras
Brikgronden	- voor kuilbrik- en alle zandige leembrikgronden: werkzame worteldiepte tot net in de Bt-horizont - voor siltige rade- en bergbrikgronden: geen duidelijke correlatie met bodemeigenschappen (bewortelbaar tot ca. 100 cm) - voor oude kleibrikgronden: tot aan de zandondergrond resp. een voor aëratie te dichte leemlaag aansluitend aan Bt-horizont		x	x	
Dikke eerdgronden	- voor zandgronden: tot aan begin van de C-horizont			x	
Kalkloze zandgronden	- werkzame worteldiepte tot aan begin C-horizont resp. onderkant bruine laag - voor opgestoven gronden: gras en akkerbouwgewassen alleen in zeer los gepakte bodemlagen; voor bos vaak tot in overstoven profiel			x	in o.m. sommige beekeerdgronden beperkte mogelijkheden voor wortelgroei tot GLG-niveau via houtige wortelresten
Kalkhoudende zandgronden	- als kalkloze zandgronden; doch kleilig zand is, zij het beperkt, bewortelbaar			x	
Niet gerijpte minerale gronden	- tot onderkant van gerijpt materiaal	x			in marien materiaal zijn ook beperkingen door zout mogelijk
Zeekleigronden	- voor gemakkelijk scheurende gronden (klei): ongeveer GLG-niveau - voor nauwelijks of niet scheurende gronden (zavel): ondergrens gehomogeniseerde laag; begin van lagen met overwegend grijze kleuren; dichte structuur; sterke gelaagdheid - bij profielverloop 1 en 2: het begin van de veen- resp. zandondergrond - het begin van kattekleivlekken		x	x	in of vanaf lagen met een beperkt aantal met het blote oog zichtbare poriën (bepaald door fragmentatiegraad of andere met het blote oog zichtbare poriën) is geen of slechts een beperkte worteldichtheid mogelijk. Als gevolg daarvan kan o.m. in zware klei, knipklei en in lichte zavel de werkzame worteldiepte minder zijn dan de totale worteldiepte
Rivierkleigronden	- als bij zeekleigronden				
Oude kleigronden	- voor oude rivierkleigronden: zie bij zeeklei- en bij brikgronden - voor overige leemgronden: onderkant bewerkte resp. "losse" laag		x	x	
Leemgronden	- geen duidelijke correlatie met profieleigenschappen	x		x	onder overigens dezelfde omstandigheden is siltige leem over het algemeen beter bewortelbaar dan zandige leem

6. LITERATUUR

- Bakker, J.W. en A.P. Hidding 1967 De invloed van verslemping op de zuurstofdiffusie in de grond. Instituut voor Cultuurtechniek en Waterhuishouding. Nota nr. 403.
- Boekel, P. 1970 Verbetering en handhaving van de structuur in de bouwvoor. In: Bodem en bemesting deel 3, Cursus Bodemkunde. Rijkslandbouwconsulentenschap voor Bodem en Bemesting, Wageningen: 677-712.
- Boon, J. van der 1974 Het trekken van tulpen op veen; de noodzakelijke bekalking. Bedrijfsontwikkeling 5, 10: 913-915.
- Booij, A.H., G. Rutten en G.P. Wind 1975 Reconstructiegebied Oost-Groningen en Gronings-Drentse veenkoloniën en streekplangebied Oost- en Zuidoost Drente. Stichting voor Bodemkartering en Instituut voor Cultuurtechniek en Waterhuishouding, rapport nr. 1198, Wageningen.
- Broek, J.M.M. van den en T.C. Teunissen van Manen 1959 De bodemgesteldheid van het ruilverkavelingsgebied Lollebeek. Stichting voor Bodemkartering, rapport nr. 515, Wageningen.
- Brouwer, R. 1960 De invloed van de aëratie van het wortelmilieu op de groei van bruine bonen. Jaarboek Instituut voor Biologisch en Scheikundig Onderzoek, Wageningen: 11-21.
- Brouwer, R. 1972 De invloed van milieufactoren op groei en ontwikkeling. In: Leerboek der Plantenfysiologie, samengesteld door R. Brouwer en P.J.C. Kuiper, Oecofysiologische Relaties, Utrecht, deel 3: 188-248.
- Butijn, J. 1954 De betekenis voor fruit van sliblagen in de ondergrond van plaatgronden. Boor en Spade 7: 189-197.
- Butijn, J. 1958 Betekenis van bewortelingsopnamen in de fruitteelt. Med.Dir.Tuinb. 21: 622-631.
- Butijn, J. 1961 Bodembehandeling in de fruitteelt, Delen 1, 2, 3. Versl.Landbouwk.Onderz. 66.7.
- Camp, C.R. and J.F. Lund 1968 Effect on mechanical impedance on cotton root growth. Transactions of the A.S.A.E., vol. 11, 2: 188-190.
- Dam, J.G.C. van 1973 Bodemgeschiktheidsonderzoek in het bijzonder bij asperges, appels en stooktomaten. Diss. Wageningen. Bodemkundige Studies nr. 10.
- Dam, J.G.C. van en J.A.Hulshof 1967 De penetrometer als instrument voor het onderzoek naar de geschiktheid van de grond voor aspergeteelt. Med.Dir.Tuinb. 30, 5: 186-190.
- Eavis, B.W. 1972 Soil physical conditions effecting seedling root growth. Plant and Soil 36: 613-622

- Feyen, J. 1971 De wortelontwikkeling op zand-, leembodems: van - *Secale cereale* L. - *Poa pratensis* L., en *Festuca rubra* L. - *Malus communis* L., cultivar: Golden Delicious. Doctoraatsthesis. Fac.Landbouwwetenschappen, Leuven.
- Franken, A.A. en J.P.N.L.Roorda 1958 Bewortelingsdiepte van asperges. Een onderzoek in Noord-Limburg. Med.Dir.Tuinb. 21, aug./sept.: 491-494.
- Goedewaagen, M.A.J. 1955 De oecologie van het wortelstelsel der gewassen. De plantenwortel in de landbouw. Voor- drachten A.-cursus. blz. 31-67.
- Goedewaagen, M.A.J. e.a. 1955 Wortelgroei in gronden, bestaande uit een bo- vengrond van klei en een ondergrond van zand. Versl.Landbouwk.Onderz. 61.7.
- Goedewaagen, M.A.J. en J.J. Schuurman 1955 Wortelontwikkeling in de Noordoostpolder op graslandpercelen met kleidekken van verschil- lende dikte, rustend op een ondergrond van zand. In: Wortelgroei in gronden bestaande uit een bovengrond van klei en een ondergrond van zand. Versl.Landbouwk.Onderz. 61.7: 35-56.
- Hidding, A.P. 1961 De doorwortelbaarheid van zandlagen. Instituut voor Cultuurtechniek en Waterhuishouding, rapport nr. 12, Wageningen.
- Hoekstra, C. 1971 Verslag van een bodemkundig onderzoek in het ruilverkavelingsgebied Kapelle-Wemeldinge. Deel II. Het proefplekkenonderzoek bij Golden Delicious op MIX. Rapport nr. 812. Stichting voor Bodemkartering, Wageningen.
- Hoekstra, C. en C. van Wallen- 1969 Verslag van een proefplekkenonderzoek bij ap- pels, uitgevoerd van 1961 t/m 1964 op de Zuid- Hollandse eilanden. Rapport nr. 718. Stichting voor Bodemkartering, Wageningen.
- Houben, J.M.M.Th. 1972 Effect van diepe grondbewerking op de beworte- ling in het tracé van een pijpleiding. Cul- tuurtechnisch Tijdschr. 12, 1: 21-27.
- Houben, J.M.M.Th. 1974 Wortelontwikkeling en bodemgesteldheid. Be- drijfsontwikkeling 5, 2: 141-148.
- Hulshof, H.J., L.J.J. van der 1960 Beworteling van appelbomen en bodemstructuur. Kloes en A.F.C.M. Schellekens Med.Dir.Tuinb. 23: 33-42.
- Jongerius, A. 1957 Morfologische onderzoekingen over de bodem- structuur. Bodemkundige Studies 2. Versl. Landbouwk.Onderz. 63.12.
- Jongerius, A. 1964 Het structuurprofiel. Landbouwk.Tijdschr. 76, 22: 1074-1084.
- Jonker, J.J. 1955 Enkele bewortelingsproblemen in de Noordoost- polder. In: Wortelgroei in gronden, bestaande uit een bovengrond van klei en een ondergrond van zand. (M.A.J. Goedewaagen e.a.). Versl. Landbouwk.Onderz. 61.7: 79-99.
- Jonker, J.J. 1958 Bewortelingsonderzoek en ondergrondbewerking in de Noordoostpolder. Van Zee tot Land nr.25.

- Kloes, L.J.J. van der,
H. Egberts, J. Hulshof,
A.F.C.M. Schellekens en
Th.L.A. Zegers
- Kloes, L.J.J. van der
- Knoch, H.G. und H. Hanus
- Lieshout, J.W. van
- Loeters, J.W.J. en W.P.A.
Bakermans
- Minderhoud, J.W.
- Oosten, M.F. van
- Posthuma, H.
- Reijmerink, A.
- Rijtema, P.E.
- Schaaf, D. van der
- Schäffner, B.
- Schelling, J.
- Schelling, J.
- 1961 Beworteling van aardbeien op zandgrond.
Med.Dir.Tuinb. 24, 2: 108-117.
- 1965 Bodemkundige aspecten van de teelt van enige
tuinbouwgewassen. Versl.Landbouwk.Onderz.
nr. 665.
- 1967 Die Herstellung von Wurzelprofilen mit Hilfe
des Utaherdbohrers und ihre Ausdeutung, zur
Veränderlichkeit der Durchwürzelung unter dem
Einfluss von Boden und Witterung. Zeitschr.
für Acker- und Pflanzenbau 126, 1: 1-18.
- 1960 Invloed van het bodemmilieu op ontwikkeling
en activiteit van het wortelstelsel. Proef-
schrift. Wageningen.
- 1964 De invloed van enkele groenbemestingsgewas-
sen en hun beworteling op de structuur van
zandgronden. Instituut voor Biologisch en
Scheikundig Onderzoek. Meded. 267. Meded.Dir.
Tuinb. 27: 565-572.
- 1960 Grasgroei en grondwaterstand. Onderzoekingen
over de betekenis van de grondwaterstand voor
komkleigrasland. Proefstation voor Akker- en
Weidebouw, Publikatie nr. 15.
- 1975 Invloed van bodemgesteldheid en de waterhuis-
houding op het agrarische landschap rondom
Wouw. Versl.Landbouwk.Onderz. 833. Bodemkund.
Studies, 12.
- 1974 Wortelonderzoek bij Japanse Lariks. Rapport
nr. 1178. Stichting voor Bodemkartering, Wa-
geningen.
- 1968 Bodemstructuur en beworteling. De Buffer 14,
5: 108-120.
- 1971 Een berekeningsmethode voor benadering van de
landbouwschade ten gevolge van grondwateront-
trekking. Instituut voor Cultuurtechniek en
Waterhuishouding. Nota nr. 587.
- 1955 Beworteling van de grasmat in het Randgebied
van de Noordoostpolder. In: Wortelgroei in
gronden, bestaande uit een bovengrond van klei
en een ondergrond van zand (M.A.J. Goedewaagen
e.a.). Versl.Landbouwk.Onderz. 61.7: 57-71.
- 1962 Invloed van de grondwaterstand op de beworte-
ling van de landbouw- en andere gewassen.
Instituut voor Bodemvruchtbaarheid, rapport
nr. 13, Groningen.
- 1955 Stuifzandgronden. Uitvoerige verslagen van het
Bosbouwproefstation T.N.O. Eand 2. Verslag
nr. 1.
- 1960 De hoge bosgronden van Midden-Nederland.
Stichting voor Bodemkartering. Bodemkundige
Studies nr. 5, Wageningen.

- Schothorst, C.J. 1975 De vochthuishouding van de grond. Stichting Proefcentrum voor de Rundveehouderij in het Centraal Veenweidegebied in het Westen des Lands. Zegveld. Jaarverslag 1973-1974.
- Schuurman, J.J. 1965 Influence of soil density on root development and growth of oats. Plant and Soil 12: 352-374.
- Segeren, W.A. en J. Visser 1971 Nieuwe normen voor de ontwatering van appelboomgaarden. In: Van Zee tot Land: Aspecten van het onderzoek in oostelijk Flevoland 49: 103-126.
- Smet, L.A.H. de 1969 De Groninger veenkoloniën (westelijk deel). Bodemkundige en landbouwkundige onderzoekingen in het kader van de bodemkartering. Versl. Landbouwk.Onderz. 722.
- Smet, L.A.H. de, J.J. Schuurman en P. Boekel 1970 De bewortelbaarheid van Dollardprofielen voor tarwe. Instituut voor Bodemvruchtbaarheid, rapport nr. 4, Groningen.
- Stichting voor Bodemkartering 1972 Bodemkaart van Nederland, schaal 1:50 000. Toelichting bij kaartblad 37 Oost, Rotterdam. Stichting voor Bodemkartering, Wageningen.
- Sonneveld, F. 1958 Bodemkartering en daarop afgestemde landbouwkundige onderzoekingen in het Land van Heusden en Altena. Versl.Landbouwk.Onderz. 64.4
- Tackett, J.L. and R.W. Pearson 1964 Oxygen requirements of Cotton, Seedling Roots for penetration of compacted Soil Cores. Soil Sci. 28.5: 600-605.
- Taylor, H.M. and E. Burnett 1964 Influence of soil strength on the root growth habits of plants. Soil Sci. 98: 174-180.
- Taylor, H.M. and H.R. Gardner 1963 Penetration of cotton seedling toproots as influenced by bulk density, moisture content and strength of soil. Soil Sci. 96: 153-156.
- Valk, G.G. van der en F.A.M. de Haan 1969 Gevolgen van bodemverdichtingen voor de productie van bloembolgewassen. Instituut voor Cultuurtechniek en Waterhuishouding. Nota nr.498, Wageningen.
- Valk, G.G. van der en F.A.M. de Haan 1971 Invloed van de dichtheid van de grond en de grondbewerkingsdiepte op de produktie van enkele bloembolgewassen. Instituut voor Cultuurtechniek en Waterhuishouding. Nota nr. 589, Wageningen.
- Veenenbos, J.S. 1950 De bodemgesteldheid van het gebied tussen Lemmer en Blokzijl in het randgebied van de Noord-oostpolder. Versl.Landbouwk.Onderz. nr. 55.12.
- Visser, W.C. en M.A.J. Goede- waagen 1943 Een onderzoek naar bodemstructuur en wortelontwikkeling. Landbouwk.Tijdschr. 55, 679: 405-432.
- Visser, J. 1977 Soil Aeration capacity, an index for soil structure, tested against field and root development of apple trees at various soil treatments and drainage conditions. Plant and Soil 46, 1: 221-237.

- Voetberg, K.S. 1969 Verbetering van kattekleigronden. Cult.Tech. Tijdschr. 9, 2: 65-75.
- Vos, G.A. 1975 De verzadigde horizontale doorlatendheid van veen. Stichting voor Bodemkartering, rapport nr. 1260, Wageningen.
- Vries, Th. de 1977 Grondverbetering in Nederland. Landbouwk. Tijdschr. 89, 3: 62-71.
- Wallenburg, C. van 1975 Kattekleigronden en potentiële katteklei in droogmakerijen in het westen van Nederland. Boor en Spade 19: 116-133.
- Wesseling, J. 1957 Enige aspecten van de waterbeheersing in landbouwgronden. Versl.Landbouwk.Onderz. 63.5.
- Wiersum, L.K. 1957 Problemen en methodiek van fysiologisch-oecologisch wortelonderzoek. T.N.O.-Nieuws 12, 1: 8-11.
- Wind, G.P. 1967 Root growth in acid soils. Netherlands J.of Agric.Sci. 15: 259-266.